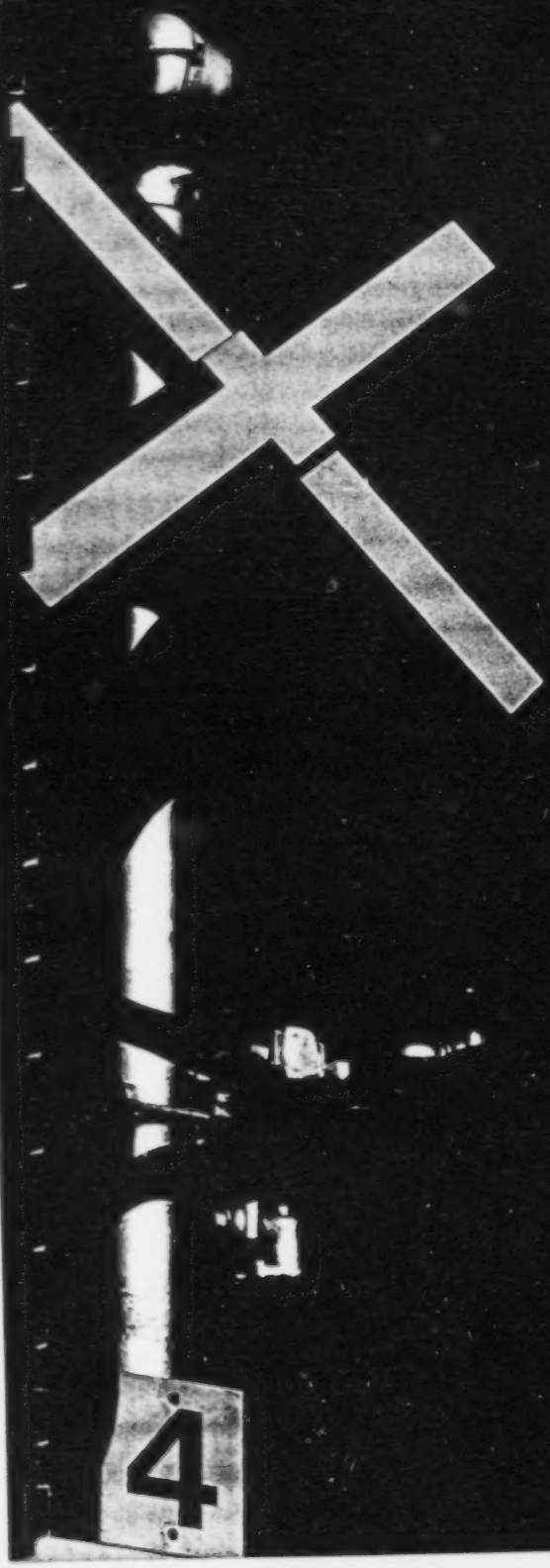
passages à niveau



TP 14384F

STRATÉGIES STI POUR VÉHICULES UTILITAIRES AUX PASSAGES À NIVEAU

Préparé pour
Centre de développement des transports
Transports Canada

par
L-P TARDIF & ASSOCIÉS INC.

Juillet 2004

Transports Canada Transport Canada

Canada

106-00524/

TP 14384F

STRATÉGIES STI POUR VÉHICULES UTILITAIRES AUX PASSAGES À NIVEAU

Préparé pour
Centre de développement des transports
Transports Canada

par
L-P TARDIF & ASSOCIÉS INC.

Juillet 2004

TP 14384F

STRATÉGIES STI POUR VÉHICULES UTILITAIRES AUX PASSAGES À NIVEAU

par

Louis-Paul Tardif
L-P TARDIF & ASSOCIÉS INC.

Juillet 2004

Avis

Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles du Centre de développement des transports de Transports Canada, du comité de direction ou des organismes parrains.

Le Centre de développement des transports et les organismes parrains n'ont pas l'habitude de citer des noms de produits ou de fabricants. S'ils le font ici, c'est simplement pour la bonne compréhension du texte.

This report is also available in English : *ITS strategies for commercial vehicles at grade crossings*, TP 14384E.

© 2004 Gouvernement du Canada (Centre de développement des transports de Transports Canada). Tous droits réservés.

Transports Canada | Transport Canada

FORMULE DE DONNÉES POUR PUBLICATION

1. N° de la publication de Transports Canada	2. N° de l'étude	3. N° de catalogue du destinataire
TP 14384F	5338	

4. Titre et sous-titre	5. Date de la publication
Stratégies STI pour véhicules utilitaires aux passages à niveau	Juillet 2004
	6. N° de document de l'organisme exécutant

7. Auteur(s)	8. N° de dossier - Transports Canada
Louis-Paul Tardif	2450-GP002

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant	10. N° de dossier - TPSGC
L-P Tardif & Associés Inc. 17 Saginaw Cr. Nepean, Ontario Canada K2E 6Y7	MTB-2-01887
	11. N° de contrat - TPSGC ou Transports Canada
	T8200-022534/001/MTB

12. Nom et adresse de l'organisme parrain	13. Genre de publication et période visée
Centre de développement des transports (CDT) 800, boul. René-Lévesque Ouest Bureau 600 Montréal (Québec) H3B 1X9	Final
	14. Agent de projet
	Paul Lemay

15. Remarques additionnelles (programmes de financement, titres de publications connexes, etc.)

Coparrainé par les partenaires financiers du Programme de recherche sur les passages à niveau de Direction 2006 : Association des chemins de fer du Canada, Canadien National, Canadien Pacifique, Via Rail Canada Inc., Alberta Transportation, le ministère des Transports de l'Ontario et le ministère des Transports du Québec

16. Résumé

Ce projet s'inscrit dans un programme de R&D lancé par Transports Canada sous l'égide de Direction 2006. Il vise à mettre au point des stratégies fondées sur des systèmes de transports intelligents (STI) pour application aux passages à niveau publics fréquentés par des véhicules utilitaires tels que définis par le Code national de sécurité (c.-à-d. des véhicules de plus de 4 500 kg).

Un avant-projet de système d'avertissement avancé des véhicules routiers, doublé d'un signal de retour aux locomotives s'approchant du passage à niveau, a été élaboré par L-P Tardif & Associés Inc., en marge d'une étude de l'Association des transports du Canada réalisée en 1996 et intitulée *Application of Intelligent Transportation Systems (ITS) Advanced Train Control Systems (ATCS) Technologies at Highway-Rail Level Crossings*. La présente étude actualise cette première recherche, en s'intéressant tout particulièrement à l'évolution des technologies STI depuis 1996. Elle fait également un relevé des fonctions de l'architecture STI reliées aux passages à niveau.

Ce rapport présente des solutions STI applicables aux deux modes de transport, routier et ferroviaire, qui se croisent aux passages à niveau, et il énonce un ensemble de principes et de critères de conception pour le déploiement de solutions STI aux passages à niveau. Il examine également en détail les facteurs humains (ergonomiques) et leur rôle dans l'application de stratégies STI.

Il contient enfin des recommandations quant à la façon d'intégrer des solutions STI aux passages à niveau, et il propose des solutions technologiques en vue d'une démonstration. Ces travaux seraient réalisés en deux phases :

1) Phase I : élaboration de lignes directrices fonctionnelles en matière d'ergonomie et de spécifications opérationnelles en prévision d'un projet de démonstration.

2) Phase II : projet de démonstration.

17. Mots clés	18. Diffusion
Systèmes de transports intelligents, STI, passages à niveau publics, véhicule utilitaire, technologies STI, solutions STI	Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

19. Classification de sécurité (de cette publication)	20. Classification de sécurité (de cette page)	21. Déclassification (date)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifiée	Non classifiée	—	xviii, 77	Port et manutention

Transport Canada / Transports Canada

PUBLICATION DATA FORM

1. Transport Canada Publication No.	2. Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 14384F	5338	

4. Title and Subtitle	5. Publication Date
Stratégies STI pour véhicules utilitaires aux passages à niveau	July 2004
	6. Performing Organization Document No.

7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
Louis-Paul Tardif	2450-GP002

9. Performing Organization Name and Address	10. PWGSC File No.
L-P Tardif & Associates Inc. 17 Saginaw Cr. Nepean, Ontario Canada K2E 6Y7	MTB-2-01887
	11. PWGSC or Transport Canada Contract No.
	T8200-022534/001/MTB

12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Publication and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) 800 René Lévesque Blvd. West Suite 600 Montreal, Quebec H3B 1X9	Final
	14. Project Officer
	Paul Lemay

15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.)

Co-sponsored by the funding partners of the Direction 2006 Highway-Railway Grade Crossing Research program: Railway Association of Canada, Canadian National Railway, Canadian Pacific Railway, VIA Rail Canada Inc., Alberta Transportation, Ministry of Transportation of Ontario, and the ministère des Transports du Québec

16. Abstract

This project, part of a larger R&D initiative launched by Transport Canada under Direction 2006, deals with the development of Intelligent Transportation Systems (ITS) strategies at public grade crossings involving commercial vehicles as defined by the National Safety Code (i.e., vehicles over 4,500 kg).

A preliminary conceptual design for a system to provide advance warning to road vehicles and feedback to approaching locomotives was developed by L-P Tardif & Associates Inc. as part of a 1996 Transportation Association of Canada study entitled Application of Intelligent Transportation Systems (ITS) Advanced Train Control Systems (ATCS) Technologies at Highway-Rail Level Crossings. The present project reviewed and updated this earlier project and looked specifically at the evolution of ITS technologies since then. It also identified the functions related to railway crossings under the ITS architecture.

This report describes possible ITS solutions for both the rail and the road modes of transport in the context of at-grade crossings, and outlines a set of design principles and requirements for the deployment of ITS solutions at highway-railway crossings. Human factors and its role in this issue are also discussed at length.

Recommendations are made on how to integrate ITS solutions at grade crossings, and technological solutions are proposed for a demonstration of the technologies. Future developments would be divided into two phases:

1) Phase I: Prepare the functional human factors guidelines and operational specifications for a demonstration project.

2) Phase II: Demonstration project

17. Key Words	18. Distribution Statement
Intelligent transportation systems, ITS, public at grade crossing, commercial vehicle, ITS technologies, ITS solutions	Limited number of copies available from the Transportation Development Centre

19. Security Classification (of this publication)	20. Security Classification (of this page)	21. Declassification (date)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	---	xviii, 77	Shipping/ Handling

REMERCIEMENTS

Cette étude fait partie du Programme de recherche sur les passages à niveau, une initiative parrainée par Transports Canada, les grandes sociétés ferroviaires canadiennes et plusieurs provinces. Ce programme constitue un des volets de Direction 2006, un projet coopératif lancé en 1996 dont le but était de diminuer de moitié, en dix ans, le nombre d'accidents aux passages à niveau.

Équipe de projet

Bill Moore Ede, TTI
Uwe Rutenberg, Rutenberg Design Inc.
Louis-Paul Tardif, L-P Tardif & Associés Inc.

PARTENAIRES FINANCIERS

Programme de recherche sur les passages à niveau de Direction 2006

Transports Canada
Association des chemins de fer du Canada
Canadien National
Canadien Pacifique
VIA Rail Canada Inc.
Alberta Transportation
Ministère des Transports de l'Ontario
Ministère des Transports du Québec

SOMMAIRE

Même si le nombre d'accidents mettant en cause des véhicules utilitaires aux passages à niveau est plutôt faible par rapport au nombre total des accidents de la route, ce type d'accidents compte pour une part élevée, toutes proportions gardées, du nombre total des accidents aux passages à niveau. Pendant une année moyenne, on dénombre environ 40 collisions entre des véhicules lourds et des trains à des passages à niveau. En 2003, ce chiffre représentait 16 p. 100 de tous les accidents impliquant des véhicules automobiles aux passages à niveau. Plus important encore, chaque fois qu'un accident s'est soldé par le déraillement du train, un véhicule lourd était en cause. De tels accidents surviennent à tous les passages à niveau, protégés ou non, et un fort pourcentage se produisent à des passages à niveau privés. Les accidents aux passages à niveau de ferme sont très rares.

Pour réduire encore plus le nombre de collisions aux passages à niveau, le gouvernement du Canada et ses partenaires se sont entendus en 1996 pour créer un programme national, appelé Direction 2006, dont l'objectif était de réduire de 50 p. 100 en 10 ans les collisions aux passages à niveau et les intrusions sur les emprises ferroviaires. Ce programme comprend un volet recherche, dans lequel s'inscrit la présente étude.

Direction 2006 a pour mandat de concevoir et d'exécuter un programme de recherche pour améliorer la performance et le rapport coût-efficacité des systèmes d'avertissement de passage à niveau. Une des options étudiées est le recours aux nouvelles technologies.

Il est d'emblée reconnu qu'il faut porter une attention particulière aux véhicules utilitaires, car un lourd ensemble tracteur-remorque peut avoir besoin de plus de temps qu'un autre véhicule pour s'immobiliser à un passage à niveau ou pour le franchir en toute sécurité. Une collision entre un train et une semi-remorque a de lourdes répercussions sur la sécurité, l'économie et l'environnement. Dans le cas de véhicules transportant des marchandises dangereuses ou des passagers, un impact violent peut avoir des conséquences catastrophiques. Dans certains cas, la réglementation provinciale oblige les véhicules utilitaires à faire un arrêt aux passages à niveau, ce qui allonge le temps nécessaire pour traverser les voies. Des moyens plus efficaces doivent donc être trouvés pour assurer la sécurité de ces groupes d'usagers particuliers.

Un avant-projet de système d'avertissement avancé des véhicules routiers, doublé d'un signal de retour aux locomotives s'approchant du passage à niveau, a été élaboré par L-P Tardif & Associés Inc., en marge d'une étude de l'Association des transports du Canada (ATC) réalisée en 1996 et intitulée *Application of Intelligent Transportation Systems (ITS) Advanced Train Control Systems (ATCS) Technologies at Highway-Rail Level Crossings*. La présente étude actualise cette première recherche, en s'intéressant tout particulièrement à l'évolution des technologies de systèmes de transports intelligents (STI) depuis 1996. Elle fait également un relevé des fonctions de l'architecture STI reliées aux passages à niveau.

Plus précisément, l'objectif assigné au présent projet était de recommander des stratégies STI pour un essai en service d'un système conçu pour signaler à l'avance l'arrivée d'un train à l'intérieur de la cabine des véhicules utilitaires se trouvant à proximité d'un passage à niveau.

L'étude a révélé que le nombre annuel de collisions entre des véhicules utilitaires et des trains est demeuré relativement stable au cours des ans. De même, le potentiel d'application de technologies STI aux véhicules utilitaires transportant des marchandises dangereuses n'a pas beaucoup changé depuis 1996. De fait, les technologies STI destinées tant au secteur routier qu'au secteur ferroviaire ont évolué plus lentement que prévu, et les connaissances sur les facteurs humains qui influent sur les conducteurs de véhicules utilitaires aux passages à niveau ont très peu progressé depuis 1996. Cette lenteur tient probablement, au moins en partie, au retard à élaborer une norme relative aux communications dédiées à courte distance (CDCD) pour les STI. Cette norme étant maintenant entrée en vigueur (en 2003), il se pourrait que l'on assiste à un nouvel essor des applications technologiques visant les passages à niveau.

Est-ce en raison de l'absence de norme, peu de projets de recherche ou de déploiement ont porté sur les STI et les véhicules «à haut risque» aux passages à niveau. L'étude réaffirme toutefois que la démarche prônée dans le rapport de l'ATC de 1996 demeure valide et qu'elle peut s'avérer efficace à long terme pour attirer l'attention des conducteurs de véhicules utilitaires, aux passages à niveau automatisés et non automatisés.

Une des tâches assignées au présent projet était de recenser les groupes et organismes intéressés et d'entrer en contact avec eux. L'équipe de recherche a communiqué et obtenu des entrevues avec plus de 20 organismes représentant les gouvernements, les compagnies de chemin de fer et les entreprises de camionnage. De plus, un des membres de l'équipe de recherche a accompagné deux camionneurs et une équipe de train au cours de trajets précis.

Le but de ces entrevues était de déterminer les attentes et les capacités des intervenants et des participants en ce qui a trait à la sécurité, aux facteurs humains et aux coûts.

Voici quelques-unes des opinions qui ont émané de ces consultations :

- Pour de nombreux organismes, la question du déploiement de STI aux passages à niveau est loin de représenter une priorité pour l'instant.
- Les compagnies de chemin de fer ont fortement recommandé que toute nouvelle technologie soit à sûreté intégrée.
- La Direction générale de la sécurité ferroviaire de Transports Canada insiste également sur la nécessité de systèmes à sûreté intégrée.
- Pour les entreprises de camionnage, un système d'avertissement à l'intérieur de la cabine serait acceptable.
- Tous les conducteurs consultés ont dit avoir une confiance absolue dans les systèmes d'avertissement existants (qui relèvent des sociétés ferroviaires).

- Les choix technologiques devraient obéir à une approche modulaire : la technologie choisie pour les passages à niveau ne devrait pas être spécifique à cette application, mais pouvoir être intégrée à d'autres applications plus générales.
- La technologie des transpondeurs a été désignée comme représentant vraisemblablement le choix le plus logique pour la transmission des avertissements aux véhicules, dans le cadre d'un déploiement STI aux passages à niveau.
- Les questions du rapport coûts-avantages et du niveau de risque devraient être abordées lors d'un projet de démonstration.
- La question de la responsabilité devrait aussi être étudiée dans le cadre d'un projet de démonstration, car aucune administration routière n'a encore vraiment réfléchi au problème de la responsabilité des communications STI entre passages à niveau et véhicules automobiles.

C'est avec ces données en tête que l'équipe de recherche a élaboré une stratégie STI pour véhicules utilitaires aux passages à niveau. Cette stratégie définit les principes de conception et de développement suivants :

- Les systèmes doivent être à sûreté intégrée.
- Les systèmes doivent obéir à des critères et des normes largement acceptés.
- Les technologies utilisées doivent avoir déjà été démontrées et éprouvées.
  - Les avertissements doivent être transmis uniquement aux véhicules qui s'approchent du passage à niveau.
  - Les avertissements doivent être du type à «délai constant»; autrement dit, le temps entre l'avertissement et l'arrivée du train au passage à niveau doit toujours être le même, peu importe la vitesse du train.

Les chercheurs ont également examiné le problème sous l'angle des facteurs humains. C'est aux conducteurs de véhicules qu'il incombe d'éviter les collisions. Malheureusement, en raison du faible taux de collisions, on dispose de peu de données sur le rôle des facteurs humains chez les conducteurs de véhicules utilitaires aux passages à niveau. Voici ce qui est suggéré à cet égard :

- Élaborer, aux fins d'une démonstration, des lignes directrices provisoires concernant la conception d'interfaces ergonomiques, fondées sur les principes d'ergonomie incorporés aux normes touchant la communication et le traitement de l'information.
- Organiser une démonstration pour mettre à l'essai, évaluer et modifier, au besoin, ces lignes directrices.
- À partir des résultats de l'essai, élaborer des lignes directrices définitives.

Le projet de démonstration comprendrait la conception d'un régulateur de passage à niveau intelligent (IXC, pour *intelligent crossing controller*) capable de recevoir les prévisions d'occupation du passage à niveau par un train, transmises soit par des capteurs en voie (notamment des magnétomètres), soit par un système de localisation embarqué dans la locomotive, soit par les deux.

L'IXC déterminerait alors s'il y a lieu d'émettre un avertissement de type *danger/sans danger*, selon un délai d'avertissement avancé prédéterminé. Le message comprendrait l'heure prévue de l'occupation.

Le système à l'intérieur du véhicule afficherait l'avertissement *danger/sans danger* en fonction du message reçu (peu importent alors les caractéristiques du véhicule) ou d'un délai calculé à partir de l'heure d'occupation et des caractéristiques du véhicule. La figure 1 illustre le principe du système.

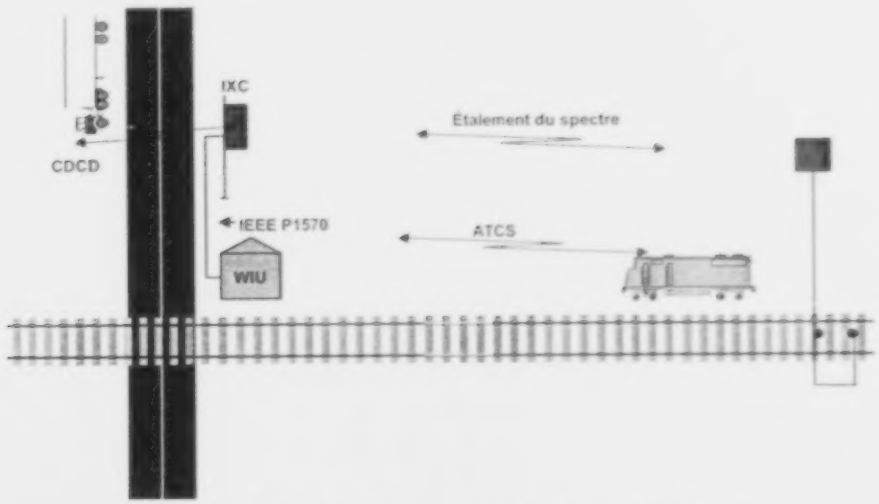


Figure 1 : Régulateur de passage à niveau intelligent

L'équipement à bord de la locomotive et l'unité d'interface fixe (WIU, pour *wayside interface unit*) pourraient appartenir à la compagnie de chemin de fer. Les communications entre la locomotive et la WIU répondraient à la norme ATCS, celle qu'utilisent les projets actuellement en cours aux États-Unis.

Quant aux capteurs en voie et à l'IXC, ils pourraient être la propriété de l'administration routière (comme le prévoit l'architecture STI). Les communications entre la WIU et l'IXC obéiraient à la norme de l'Institute of Electrical and Electronic Engineers – IEEE P1570, élaborée spécialement pour les STI. Quant aux communications entre la locomotive et l'IXC, relayées par la WIU, elles se feraient en boucle fermée, pour des raisons de responsabilité et aussi pour des motifs opérationnels.

L'IXC devrait être conçu non seulement pour donner des avertissements à l'intérieur des véhicules mais aussi pour commander les dispositifs d'avertissement en bordure de la voie. Les transmissions de l'IXC au véhicule utiliseraient une norme CDCD pour les STI. À court terme, seuls quelques trains seraient équipés d'un système de commande des trains par les télécommunications (CBTC, pour *communications-based train control*). Cela signifie que, d'ici à ce que la majorité des locomotives soient équipées d'un tel système, il faudra se fier à des capteurs en voie (les magnétomètres étant la principale technologie éprouvée) pour prévoir l'occupation du passage à niveau par un train.

L'IXC déterminerait alors s'il y a lieu d'émettre un avertissement de type *danger/sans danger*, selon un délai d'avertissement avancé prédéterminé. Le message comprendrait l'heure prévue de l'occupation.

Le système à l'intérieur du véhicule afficherait l'avertissement *danger/sans danger* en fonction du message reçu (peu importent alors les caractéristiques du véhicule) ou d'un délai calculé à partir de l'heure d'occupation et des caractéristiques du véhicule. La figure 1 illustre le principe du système.

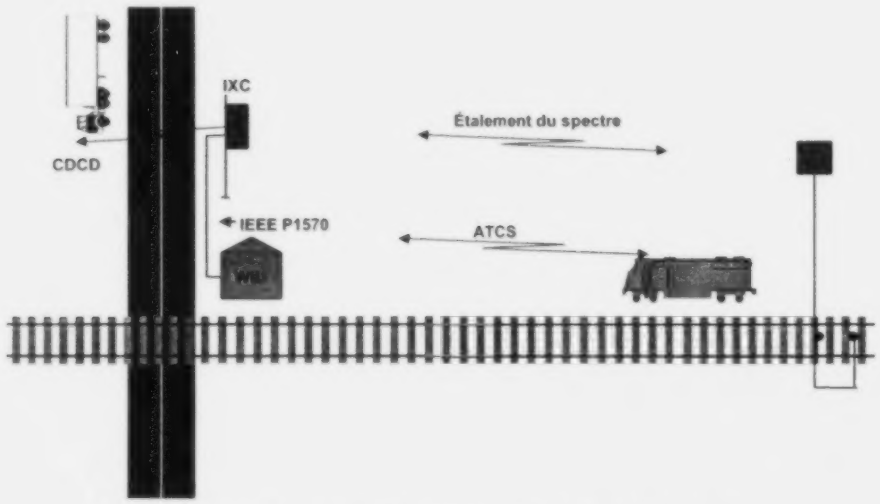


Figure 1 : Régulateur de passage à niveau intelligent

L'équipement à bord de la locomotive et l'unité d'interface fixe (WIU, pour *wayside interface unit*) pourraient appartenir à la compagnie de chemin de fer. Les communications entre la locomotive et la WIU répondraient à la norme ATCS, celle qu'utilisent les projets actuellement en cours aux États-Unis.

Quant aux capteurs en voie et à l'IXC, ils pourraient être la propriété de l'administration routière (comme le prévoit l'architecture STI). Les communications entre la WIU et l'IXC obéiraient à la norme de l'Institute of Electrical and Electronic Engineers – IEEE P1570, élaborée spécialement pour les STI. Quant aux communications entre la locomotive et l'IXC, relayées par la WIU, elles se feraient en boucle fermée, pour des raisons de responsabilité et aussi pour des motifs opérationnels.

L'IXC devrait être conçu non seulement pour donner des avertissements à l'intérieur des véhicules mais aussi pour commander les dispositifs d'avertissement en bordure de la voie. Les transmissions de l'IXC au véhicule utiliseraient une norme CDCD pour les STI. À court terme, seuls quelques trains seraient équipés d'un système de commande des trains par les télécommunications (CBTC, pour *communications-based train control*). Cela signifie que, d'ici à ce que la majorité des locomotives soient équipées d'un tel système, il faudra se fier à des capteurs en voie (les magnétomètres étant la principale technologie éprouvée) pour prévoir l'occupation du passage à niveau par un train.

De même, il faudra des années avant que les systèmes de télécommunications se généralisent dans les véhicules. Aussi, à court terme, on devra commencer par équiper les véhicules à haut risque, et les passages à niveau fréquentés par ces véhicules. Tant que seuls les véhicules à haut risque seront équipés, un avertissement avancé à délai constant devrait faire l'affaire.

À mesure que les systèmes CBTC se généraliseront, il deviendra possible d'utiliser ces systèmes pour transmettre à la WIU et à l'IXC l'heure prévue de l'occupation du passage à niveau par un train.

Lorsque de plus en plus de véhicules seront équipés de transpondeurs CDCD et d'afficheurs, il deviendra plus important, et aussi plus facile, d'adapter les avertissements aux caractéristiques du véhicule.

La recherche conclut que la technologie pour donner un avertissement avancé, à l'intérieur du véhicule, de la présence ou de l'arrivée d'un train à un passage à niveau, est techniquement à portée de main, mais que, en raison du grand nombre de véhicules, de passages à niveau et de locomotives à équiper pour rendre viable une telle technologie STI, une voie d'évolution s'impose. Il est donc recommandé de donner la priorité aux passages à niveau à haut risque – soit ceux que les véhicules à haut risque franchissent régulièrement.

Il n'existe pas sur le marché de système «de série» capable d'exécuter toutes les tâches nécessaires, mais tous les composants d'un tel système ont déjà été éprouvés sur le terrain. La démonstration de la technologie devrait de fait être une démonstration de faisabilité technique, et elle devrait faire une grande place à l'examen de l'aspect «facteurs humains».

Les divers organismes consultés tout au cours de la recherche ont clairement indiqué l'importance d'incorporer la sûreté intégrée à toutes les applications STI destinées aux passages à niveau. Il est certain que tout système STI conçu pour donner des avertissements aux passages à niveau publics doit être à sûreté intégrée et que tout projet de démonstration doit aussi souscrire à ce principe. Ce principe de sûreté intégrée peut aussi comprendre des fonctions optimisées de surveillance des systèmes classiques, lesquelles, en cas de défaillance, transmettraient un signal à un poste central qui dépêcherait des équipes d'entretien pour réparer la composante défectueuse.

D'après les constatations faites au cours de l'étude, il est recommandé d'adopter une stratégie proactive de *poussée technologique*. Une telle stratégie donnerait à Direction 2006 les moyens d'anticiper les besoins et de répondre promptement à la demande, surtout en des moments de crise. Selon cette stratégie, les travaux futurs se diviseraient en deux phases :

- Phase I : ingénierie système
- Phase II : démonstration du système

La phase I consisterait à élaborer les lignes directrices fonctionnelles en matière d'ergonomie et des spécifications opérationnelles en prévision d'un projet de démonstration. Cette première phase consisterait en outre à repérer des passages à niveau dits candidats, offrant un emplacement et des conditions propices à la démonstration. Le coût de cette phase est évalué à 175 000 $CAN.

La phase II serait constituée du projet de démonstration comme tel. Le coût de cette phase est évalué à environ 1 975 000 $CAN. Ce coût élevé s'explique en partie par l'exigence de sûreté intégrée.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION 1

2. OBJECTIF 5

3. PORTÉE 7

4. MISE À JOUR DU RAPPORT DE 1996, *APPLICATION OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITS) ADVANCED TRAIN CONTROL SYSTEMS (ATCS) TECHNOLOGIES AT HIGHWAY-RAIL LEVEL CROSSINGS* 9
   - 4.1 Mise à jour sur les technologies ferroviaires 14
     - 4.1.1 Systèmes en voie 14
     - 4.1.2 Systèmes à bord de la locomotive 16
   - 4.2 Mise à jour sur les technologies pour poids lourds 17
     - 4.2.1 Utilisation de systèmes embarqués pour poids lourds – Revue quantitative 17
     - 4.2.2 Résultats et évolution 18
     - 4.2.3 Exigences réglementaires concernant le transport de marchandises dangereuses par camion 23
     - 4.2.4 Déploiement de technologies de transpondeurs pour transporteurs routiers 25
   - 4.3 Mise à jour sur l'architecture et les normes STI 26
   - 4.4 Systèmes STI de surveillance de la circulation routière 29
   - 4.5 Mise à jour sur la recherche sur les passages à niveau au Minnesota 30
     - 4.5.1 Signalisation à bord du véhicule 30
     - 4.5.2 Système d'avertissement automatique à faible coût pour passages à niveau à faible volume de circulation 31
   - 4.6 Mise à jour sur la R&D sur les facteurs humains 31
   - 4.7 Collisions aux passages à niveau 34
   - 4.8 Sommaire de la mise à jour 36

5. CONSULTATIONS AUPRÈS DES INTERVENANTS 39
   - 5.1 Observations faites au cours des voyages effectués en compagnie de conducteurs de véhicules utilitaires et de mécaniciens de locomotive 39
     - 5.1.1 Conducteurs de véhicules utilitaires transportant des marchandises dangereuses en vrac 39
     - 5.1.2 Mécaniciens de locomotive de VIA Rail 44
   - 5.2 Représentants de l'industrie ferroviaire 48
     - 5.2.1 Besoin perçu d'un avertissement supplémentaire 48
     - 5.2.2 Volonté de participer au développement d'applications STI 48
     - 5.2.3 Principes de conception 49

5.3 Représentants du secteur routier 50
5.3.1 Besoin perçu et volonté de participer au développement d'applications STI 50
5.3.2 Principes de conception 51
5.4 Exploitants de véhicules d'urgence 52
5.4.1 Technologies embarquées 52
5.5 Consultation de la Direction générale de la sécurité ferroviaire de Transports Canada 54
5.6 Sommaire des consultations 54

6. STRATÉGIES STI POUR VÉHICULES UTILITAIRES AUX PASSAGES À NIVEAU 57
6.1 Principes de conception et de développement 57
6.2 Prévision de l'occupation d'un passage à niveau par un train 58
6.2.1 Magnétomètres fixes en bordure de la voie 58
6.2.2 GPS embarqué dans la locomotive et calcul embarqué 59
6.3 Transmission de l'avertissement au véhicule 60
6.3.1 Niveau 1 60
6.3.2 Niveau 2 61
6.3.3 Niveau 3 62
6.4 Considérations relatives aux facteurs humains 62
6.4.1 Systèmes d'avertissement extérieurs 62
6.4.2 Enjeux reliés aux systèmes d'avertissement à bord du véhicule 63
6.4.3 Considérations relatives aux technologies embarquées 64
6.4.4 Support du message 65
6.4.5 Type d'avertissement dans le véhicule 65
6.4.6 Conception des messages 65
6.5 Schéma du système 67
6.6 Stratégie de transition – à court terme 68
6.7 Stratégie de transition – à long terme 69
6.8 Projet de démonstration proposé 69
6.8.1 Ingénierie système et gestion du projet 70
6.8.2 Développement, essai et mise en oeuvre 71

7. CONCLUSIONS 73

8. RECOMMANDATIONS 75
8.1 Phase I : ingénierie système 75
8.1.1 Organisation 76
8.1.2 Préparation de lignes directrices en matière d'ergonomie 76
8.1.3 Mise à l'essai des avertissements sonores, visuels et tactiles 76
8.1.4 Préparation des spécifications 76
8.2 Phase II : démonstration 77

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Conséquences d'une collision avec un véhicule à un passage à niveau 12
Figure 2 Véhicule utilitaire utilisé pour les voyages d'observation 42
Figure 3 Poste du conducteur avec téléphone sur le tableau de bord et radio BP au-dessus 42
Figure 4 Véhicule s'approchant d'un passage à niveau automatisé (panneau d'avertissement à droite, «X» peint sur la chaussée, croix d'avertissement avec feux) en Ontario 43
Figure 5 Véhicule utilitaire s'approchant d'un panneau d'avertissement portant le symbole de voies ferrées coupant une route, des feux et l'inscription «Passage d'un train aux feux clignotants» 43
Figure 6 Poste de conduite du mécanicien principal avec toutes les commandes de conduite et deux écrans pour l'affichage des paramètres des moteurs 46
Figure 7 Poste du co-mécanicien avec un seul écran, quelques commandes, un téléphone cellulaire et un radiotéléphone 46
Figure 8 Passage à niveau privé – habituellement de ferme – sans système d'avertissement automatisé 47
Figure 9 Passage à niveau automatisé avec croix d'avertissement, feux clignotants et barrières abaissées 47
Figure 10 Ambulancière utilisant un téléphone cellulaire pour communiquer avec le centre de répartition 53
Figure 11 Pompier dans la cabine d'un camion incendie équipé d'un radiotéléphone mobile et d'un radiotéléphone fixe 54
Figure 12 Principe d'un système de détection à magnétomètres 59
Figure 13 LDS à bord de la locomotive 60
Figure 14 Transmission du message au véhicule 61
Figure 15 Le véhicule détecte les passages à niveau 61
Figure 16 Diagramme du flux de données pour l'interface embarquée 64
Figure 17 Schéma du système 68

LISTE DES TABLEAUX ET DIAGRAMMES

Tableau 1 Évolution de l'utilisation des technologies embarquées en Ontario (%)...18
Tableau 2 Utilisation des technologies embarquées au Canada (%) 19
Tableau 3 Utilisation des technologies (%) 19
Tableau 4 Utilisation des technologies en fonction du lieu d'immatriculation des véhicules (1995)....20
Tableau 5 Utilisation des technologies en fonction du lieu d'immatriculation des véhicules (1999)....20
Tableau 6 Utilisation (en %) des technologies dans diverses régions de l'Ontario en fonction du lieu d'immatriculation des véhicules (enquête routière de 1995)....21
Tableau 7 Utilisation (en %) des technologies selon divers critères (enquête routière de 1999) 22
Tableau 8 Collisions mettant en cause des véhicules lourds 35
Tableau 9 Collisions mettant en cause des véhicules lourds et causant un déraillement....35
Tableau 10 Collisions par l'arrière aux passages à niveau mettant en cause des véhicules transportant des marchandises dangereuses, au Québec (1995-1999)....36

Diagramme 1 Pourcentage croissant des collisions aux passages à niveau causant le déraillement du train 35

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ACE	Alameda Corridor – East (États-Unis)
ACL	Affichage à cristaux liquides
ATC	Association des transports du Canada
ATCS	Système avancé de commande des trains
AVC	Classification automatisée des véhicules
AVI	Identification automatisée des véhicules
AVL	Localisation automatisée des véhicules
BP	Bande publique
CBTC	Commande des trains par les télécommunications
CCATM	Conseil canadien des administrateurs en transport motorisé
CDCD	Communications dédiées à courte distance
CE	Communauté européenne
CSA	Association canadienne de normalisation
CVSA	Commercial Vehicle Safety Alliance (États-Unis)
DEL	Diode électro-luminescente
EPA	Environmental Protection Agency (États-Unis)
FHWA	Federal Highway Administration (États-Unis)
FMCSA	Federal Motor Carrier Safety Administration (États-Unis)
GHz	gigahertz
GPS	Système de positionnement global
hp	horse power
IAE	Identification automatique d'équipements
ID	Code d'identification
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IIC	Régulateur d'intersection intelligent
ISA	International Sign Association (États-Unis)
ITCS	Système de commande incrémentale des trains
IXC	Régulateur de passage à niveau intelligent
LDS	Système de localisation
LGV	Ligne à grande vitesse
LVN	Ligne à vitesse normale
mi/h	mille à l'heure
MTO	Ministère des Transports de l'Ontario
NAJPTC	North American Joint Positive Train Control (États-Unis)
NHTSA	National Highway Transportation Safety Agency (États-Unis)
PAV	Panneau activé par les véhicules
PMV	Panneau à message variable
PN	Passage à niveau
PNBV	Poids nominal brut de véhicule
PTS	Distance de séparation sûre entre les trains
RTMS	Télédétection par hyperfréquences
SAE	Society of Automotive Engineers (États-Unis)
SAPV	Système d'alerte de proximité d'un véhicule

STI	Systèmes de transports intelligents
TC	Transports Canada
TSA	Transportation Security Administration (États-Unis)
U.S. DOT	Département des Transports américain
WIU	Wayside Interface Unit (Unité d'interface fixe - le long de la voie)

1. INTRODUCTION

Même si le nombre d'accidents aux passages à niveau a diminué ces dernières années, il demeure trop élevé. Au cours d'une année moyenne, il se produit au Canada plus de 300 collisions à des passages à niveau, qui font 40 tués et blessés. Dernièrement, ce nombre est tombé sous les 280. Mais le nombre d'incidents mettant en cause des véhicules utilitaires à des passages à niveau augmente ou demeure relativement stable. Par conséquent, les véhicules utilitaires représentent aujourd'hui une proportion plus forte qu'hier du nombre total d'incidents aux passages à niveau. Il convient aussi de noter que ces collisions se produisent autant à des passages à niveau protégés par des systèmes d'avertissement qu'à des passages à niveau non protégés. Ainsi, en 2003, 46 p. 100 des collisions mettant en cause des véhicules utilitaires ont eu lieu à des passages à niveau protégés.

Pour réduire encore plus le nombre de collisions aux passages à niveau, le gouvernement du Canada et ses partenaires ont mis sur pied un programme national appelé Direction 2006.

Direction 2006 réunit des représentants de tous les paliers de gouvernement, des compagnies de chemin de fer, des organismes de promotion de la sécurité, des syndicats et des groupes communautaires. Une partie de son mandat consiste à concevoir et exécuter un programme de recherche pour améliorer la performance et le rapport coût-efficacité des systèmes d'avertissement de passage à niveau. Une des options étudiées est le recours aux nouvelles technologies.

Tous les partenaires réunis sous l'égide de Direction 2006 travaillent à réduire les collisions aux passages à niveau et les intrusions sur les emprises ferroviaires. Pour atteindre son objectif d'une réduction de 50 p. 100 pendant la décennie de 1996 à 2006, Direction 2006 a déterminé de grands secteurs d'activité, dont l'un est la recherche.

Il est d'emblée reconnu qu'il faut porter une attention particulière aux véhicules utilitaires, car un lourd ensemble tracteur-remorque peut avoir besoin de plus de temps qu'un autre véhicule pour s'immobiliser à un passage à niveau ou pour le franchir en toute sécurité. Dans certains cas, la réglementation provinciale oblige les véhicules utilitaires à faire un arrêt aux passages à niveau, ce qui allonge le temps nécessaire pour traverser les voies. Certes, il est possible d'allonger les délais d'avertissement en fonction des véhicules routiers les plus lents qui franchissent régulièrement des passages à niveau, mais cette solution a des limites, car les autres usagers de la route, à qui un délai d'avertissement relativement court suffit, deviendraient impatients si on leur imposait des temps d'attente qu'ils percevraient excessifs. Bien que les collisions entre des trains et des ensembles tracteur-remorque représentent moins de 20 p. 100 de toutes les collisions aux passages à niveau, ces collisions ont de lourdes répercussions sur la sécurité, l'économie et l'environnement. Dans le cas de véhicules transportant des marchandises dangereuses ou des passagers, un impact violent peut avoir des conséquences catastrophiques. Des moyens plus efficaces doivent donc être trouvés pour assurer la sécurité de ces groupes d'usagers particuliers.

Un avant-projet de système d'avertissement avancé des véhicules routiers, doublé d'un signal de retour aux locomotives s'approchant du passage à niveau, a été élaboré par L-P Tardif & Associés Inc., en marge d'une étude de l'Association des transports du Canada (ATC) réalisée en 1996 et intitulée *Application of Intelligent Transportation Systems (ITS) Advanced Train Control Systems (ATCS) Technologies at Highway-Rail Level Crossings*. Cette étude portait principalement sur les véhicules routiers à haut risque, qui ont besoin d'un délai d'avertissement plus long que le délai «normal» pour s'immobiliser ou pour traverser les voies. Depuis ce temps, les systèmes de transports intelligents (STI) ont beaucoup évolué. Cette avancée des STI est en partie attribuable à l'élaboration d'une architecture STI qui prend acte de l'interface rail-route.

Transports Canada consacre quelque 7 millions de dollars par année à un programme d'amélioration des passages à niveau qui consiste à améliorer, déplacer ou fermer les passages à niveau à haut risque. La limitation des ressources accentue la nécessité d'études susceptibles d'accroître la rentabilité des investissements en dotant un plus grand nombre de passages à niveau de meilleurs systèmes d'avertissement.

Les STI offrent de nouvelles possibilités d'innovation dans ce domaine. Ainsi, on peut miser sur le potentiel de ces technologies pour donner des avertissements plus efficaces. De plus, les STI peuvent être particulièrement intéressants dans des situations où des autobus et des véhicules utilitaires transportant des marchandises dangereuses sont en cause.

Le sujet des applications STI n'est pas nouveau et fait constamment l'objet de nouvelles recherches aux États-Unis et ailleurs dans le monde. Si les STI progressent si lentement dans le secteur des passages à niveau, par rapport à d'autres secteurs, c'est probablement parce que, dans le tableau général de la sécurité routière, les collisions aux passages à niveau sont des «événements rares» : elles comptent en effet pour moins de 1 p. 100 de toutes les collisions au Canada. Ces collisions n'en ont pas moins des conséquences graves sur l'industrie ferroviaire, la sécurité des passagers, la sûreté des véhicules moteurs et des autobus, et l'environnement.

L'amélioration de la sécurité aux passages à niveau est peut-être loin dans l'échelle de priorité, car le problème est somme toute mineur, compte tenu de la situation à laquelle doivent faire face les administrations routières. Néanmoins, la mise en oeuvre de STI contient la promesse d'un meilleur dossier de sécurité aux passages à niveau, et suscite de nouvelles réflexions sur un «vieux» problème. De plus, les accidents mettant en cause des véhicules utilitaires à un passage à niveau sont lourds de conséquences. La collision entre une semi-remorque et un train de marchandises survenue au Manitoba en 2002 est un bon exemple des conséquences que peuvent avoir ces collisions. L'accident a fait dérailler le train et a nécessité l'évacuation d'une zone agricole. De plus, la présence de wagons-citernes transportant des marchandises dangereuses a entraîné la contamination de certaines des terres agricoles.

Les solutions actuelles, comme les sauts-de-mouton et les avertissements mécaniques, bien que partiellement efficaces à atténuer le risque, ne sont pas toujours économiques.

Ainsi, le déploiement de STI axés sur les communications sans fil aux passages à niveau peut représenter une solution plus économique que l'aménagement d'un saut-de-mouton. De plus, le développement des STI se poursuit sans cesse, et les constructeurs automobiles y contribuent.

Voici donc comment peut se résumer le problème :

- Comment pouvons-nous réalistement utiliser les technologies STI existantes destinées au transport ferroviaire et au transport routier commercial pour améliorer les systèmes d'avertissement de passage à niveau, moyennant des coûts raisonnables et en tenant compte des appuis et objections des usagers de la route et du rail?

- Comment pouvons-nous appliquer les technologies destinés aux véhicules utilitaires transportant des marchandises dangereuses et des passagers?

- Est-il possible d'élaborer des solutions réalistes et fonctionnelles avant l'échéance de Direction 2006?

2. OBJECTIF

L'objectif assigné au projet était de recommander des stratégies STI réalistes qui peuvent être mises à l'essai en situation réelle; ces stratégies devaient conjuguer des technologies STI applicables à des véhicules routiers et ferroviaires, et donner un avertissement avancé, à l'intérieur de la cabine d'un véhicule utilitaire, de l'arrivée d'un train à un passage à niveau. L'étude avait comme objectif secondaire d'examiner les systèmes existants de communication sans fil embarqués dans le véhicule, en vue de leur application à la transmission d'avertissements, à l'approche d'un passage à niveau.

Voici la démarche adoptée pour atteindre l'objectif assigné au projet :

1. Recherche documentaire
   - Actualiser le travail fait en marge du projet de 1996 concernant l'application des STI que sont les systèmes avancés de commande des trains (ATCS, pour *Advanced Train Control Systems*) aux passages à niveau.
   - Étudier des solutions STI au problème que présentent les passages à niveau.
   - Passer en revue les activités en cours dans ce domaine.
   - Passer en revue les activités menées par STI Canada, ITS America, le réseau Atlantic et ITS Rail.
   - Revoir l'Architecture STI pour le Canada et l'architecture pour les États-Unis, et leur application au problème des passages à niveau.

2. Recrutement de participants
   - Recenser, avec Direction 2006, les groupes et organismes intéressés avec qui entrer en contact pour le projet.
   - Déterminer, par des entrevues, les attentes et les capacités des intervenants et des participants concernant la sécurité, les facteurs humains et les coûts.
   - Faire porter les entrevues sur les questions suivantes :
     - Quelles sont les technologies présentement en usage? Le rapport de 1996 mentionne deux technologies considérées émergentes à l'époque. Sont-elles encore à ce même stade ou ont-elles été pleinement déployées depuis?
     - Quels sont les facteurs limitatifs et les facteurs de succès de la mise en œuvre d'une technologie?
     - À quels gains et avantages les intervenants s'attendent-ils d'une application STI à un passage à niveau?
     - À quelles autres applications les intervenants pensent-ils que les STI conçues pour les passages à niveau seraient transférables?
     - Les sociétés ferroviaires et les entreprises de camionnage seraient-elles disposées à participer à un projet de démonstration?

3. Analyse d'information
   - Recenser les technologies STI et déterminer si elles sont applicables aux passages à niveau.
   - Analyser les technologies existantes et déterminer lesquelles doivent être développées, modifiées ou remplacées.

- Déterminer l'ampleur des travaux de développement nécessaires et les coûts connexes, si les technologies ne sont pas encore offertes sur le marché.

4. Recommander des stratégies de mise en oeuvre
   - Formuler, dans le rapport final, des recommandations de stratégies réalistes, fondées sur un examen des attentes et des capacités opérationnelles aussi bien des exploitants que des constructeurs, et appartenant à l'architecture STI.

3. PORTÉE

L'étude a consisté à combiner des technologies présentement utilisées ou sur le point d'être utilisées dans les véhicules utilitaires, en particulier les camions et les véhicules d'urgence, d'une part, et les trains de voyageurs et les trains de marchandises, d'autre part. Elle s'est surtout intéressée aux passages à niveau publics, et non à l'ensemble des passages à niveau, qui comprend aussi les passages à niveau de ferme et les passages à niveau privés. Une attention particulière a été portée aux attentes et aux capacités des intervenants du secteur ferroviaire. Des recommandations sont formulées concernant une stratégie STI à adopter aux passages à niveau.

4. MISE À JOUR DU RAPPORT DE 1996, *APPLICATION OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITS) ADVANCED TRAIN CONTROL SYSTEMS (ATCS) TECHNOLOGIES AT HIGHWAY-RAIL LEVEL CROSSINGS*

Au Canada, on examine depuis 1996 la question des STI et de leur application aux passages à niveau. L-P Tardif & Associés Inc., en collaboration avec CANAC International Inc., a rédigé, en 1996, un rapport de recherche pour l'Association des transports du Canada, qui avait pour titre *Application of Intelligent Transportation Systems (ITS) Advanced Train Control Systems (ATCS) Technologies at Highway-Rail Level Crossings* («le rapport de 1996»). Ce rapport définissait le problème et recommandait des solutions technologiques, ainsi qu'un éventuel projet de démonstration.

Depuis la publication du rapport de 1996, le nombre des collisions entre des véhicules utilitaires et des trains aux passages à niveau n'a pas beaucoup changé. Bon an mal an, ce type de collisions représente environ 15 p. 100 de toutes les collisions qui se produisent aux passages à niveau. Ces collisions font très peu de tués et de blessés. Le grand problème demeure le risque élevé auquel elles sont associées. Ainsi, une seule collision entre un autobus et un train (comme celle qui s'est produite en 2003 en Hongrie), ou entre un véhicule lourd transportant des marchandises dangereuses en vrac et un train, peut faire de nombreuses victimes ou causer de graves dommages matériels qui ont parfois d'importantes répercussions sur l'environnement. Les collisions survenues en 2002 au Manitoba et en 2003 au Québec, et qui ont nécessité l'évacuation de quartiers entiers, ne sont que deux exemples des conséquences de ce type de collisions.

Parallèlement, nous avons assisté au cours des vingt dernières années à des progrès marquants dans le domaine des STI. L'idée de recourir aux STI pour réduire les risques de collision entre des véhicules dits à haut risque et des trains était bonne à l'époque et le demeure aujourd'hui.

Le rapport de 1996 recommandait une stratégie STI pour les véhicules motorisés dits à haut risque aux passages à niveau. Les véhicules ainsi désignés étaient les suivants :

- ensembles tracteur semi-remorque transportant des marchandises dangereuses en vrac;
- véhicules suffisamment lourds pour poser un risque élevé de déraillement du train (p. ex., un véhicule transportant un transformateur ou du gravier);
- autobus (de transport interurbain, urbain et scolaire).

Le rapport portait une attention particulière aux véhicules lents, pour lesquels le délai d'avertissement normalement prévu aux passages à niveau automatisés ne suffit pas toujours.

Le rapport de 1996 présentait une revue des technologies ferroviaires et routières disponibles à l'époque. Il offrait une description de chacune des technologies, puis un

résumé de leurs applications, avec leurs avantages et inconvénients. Voici la liste des technologies ainsi décrites :

Technologies de détection des trains

- Systèmes de détection en voie
  - circuits de voies
  - détecteurs de roues
  - identification automatique d'équipements
  - magnétomètres
- Systèmes embarqués de détection/positionnement des trains
  - système de localisation par transpondeur
  - système de positionnement global (GPS, pour *Global Positioning System*)
  - système de navigation par inertie
- Pistage par système de télécommunications
  - déphasage dans la boucle d'induction
  - triangulation des communications
  - technologies de localisation hybrides

Technologies de détection des véhicules routiers

- Identification automatisée des véhicules (AVI, pour *Automatic Vehicle Identification*)
  - systèmes optique et infrarouge
  - systèmes à boucle d'induction
  - systèmes à radiofréquences et à micro-ondes (ou hyperfréquences)
  - systèmes à ondes acoustiques de surface
- Classification automatisée des véhicules (AVC, pour *Automatic Vehicle Classification*)
  - détecteurs de présence
  - capteurs d'essieux
  - combinaison de détecteurs de présence et de capteurs d'essieux
- localisation automatisée des véhicules (AVL, pour *Automatic Vehicle Location*)
  - systèmes de localisation à l'estime
  - systèmes de localisation absolue
  - systèmes à balises de proximité
  - systèmes de localisation par téléphone cellulaire/communications radio
  - systèmes de radiorepérage
  - systèmes de localisation par satellite

En 1996, la majorité des technologies nécessaires aux systèmes AVI, AVC et AVL étaient offertes par plusieurs fournisseurs et en cours de démonstration dans de nombreux programmes STI. Le système de perception électronique des péages de l'autoroute 407 à Toronto était probablement l'exemple le plus connu.

Le rapport de 1996 présentait aussi une évaluation des technologies de télécommunications. Là encore, il offrait une description de chacune des technologies,

puis un résumé de leurs applications, avec leurs avantages et inconvénients. Voici la liste des technologies ainsi décrites :

- Radiocommunications de données
  - réseau privé de communications radio de données
  - service public de communications au sol
  - service public de communications par satellite
- Communications par transpondeur
- Communications par matériel à boucle d'induction

Le rapport de 1996 offrait en outre une évaluation des activités de développement touchant la commande des trains, en s'intéressant plus précisément aux technologies et projets suivants :

- Distance de séparation sûre entre les trains (PTS, pour *Positive Train Separation*) dans le nord-ouest des États-Unis
- North American Joint Positive Train Control (NAJPTC), en Illinois
- Systèmes de commande incrémentale des trains (ITCS, pour *Incremental Train Control System*), au Michigan

L'autre technologie STI décrite dans le rapport de 1996 est connue sous le nom de système d'alerte de proximité d'un véhicule (SAPV); il s'agit d'un dispositif d'avertissement placé à bord du véhicule qui détecte l'arrivée d'un train.

La recommandation clé du rapport de 1996 était que l'on devait cibler en priorité les véhicules à haut risque pour l'application de la technologie. Les véhicules à haut risque étaient définis comme ceux qui ont besoin de plus de temps que le temps moyen pour traverser les voies (souvent parce qu'ils sont tenus de s'arrêter avant de traverser), et ceux qui font craindre des conséquences graves en cas de collision. À titre d'exemples : une collision avec un camion transportant du gravier, du bois d'œuvre ou de l'acier qui causerait le déraillement du train; une collision avec un camion transportant des marchandises dangereuses, comme du pétrole, de l'essence, du propane ou des produits caustiques, qui causerait des dommages environnementaux; une collision avec un autobus, qui causerait de nombreux décès.

La figure 1 présente les conséquences d'une collision entre un train et une semi-remorque qui transportait du bois d'œuvre, survenue en 2003 près de Québec. Les locomotives, non montrées sur la photo, ont été renversées.

Figure 1 : Conséquences d'une collision avec un véhicule à un passage à niveau

Le rapport de 1996 recommandait l'approche technique suivante :

- L'unité d'interface fixe (WIU, pour *Wayside Interface Unit*) du passage à niveau doit détecter la présence d'un train à proximité et déterminer à quelle heure il occupera le passage à niveau. L'objectif est que cette heure soit exacte à 2 secondes près et que la prévision précède de 60 secondes l'occupation du passage à niveau par le train.

- Cette information doit être communiquée aux véhicules qui s'approchent du passage à niveau. Cela suppose un élément de détection ou de «discrimination», de façon que les véhicules qui ont déjà franchi le passage à niveau et ceux qui circulent sur des routes qui ne croisent pas le passage à niveau ne reçoivent pas le message ou puissent le filtrer pour qu'il ne s'affiche pas.

- Un dispositif de rétroaction doit être prévu pour communiquer à la locomotive qui s'approche des données sur l'état de fonctionnement du dispositif d'avertissement du passage à niveau et sur l'occupation du passage à niveau. Cette communication ne doit pas atteindre les locomotives qui se trouvent dans le champ de diffusion mais à qui les messages ne sont pas destinés. (La présente étude n'appuie pas cette recommandation, car elle nécessiterait que le système d'avertissement au passage à niveau demeure activé trop longtemps.)

- Un dispositif doit être prévu pour détecter la présence d'un véhicule immobilisé sur la voie et alerter la locomotive en conséquence.

Le rapport de 1996 a mené à la conclusion que la meilleure technologie pour la détection des trains était celle des transpondeurs. On pensait pouvoir utiliser des transpondeurs placés en amont des passages à niveau pour déclencher une chaîne de procédures. Les technologies utilisant des transpondeurs avaient aussi l'avantage d'exiger peu

d'investissements dans l'infrastructure du système et offraient une voie d'évolution intéressante, en attendant un système fondé sur le GPS.

Voici le principe de fonctionnement du système recommandé dans le rapport de 1996 :

- La locomotive est équipée d'une base de données «passages à niveau» qui contient l'emplacement et l'adresse de tous les passages à niveau. Lorsque le train a atteint, par rapport au passage à niveau, une distance correspondant à sa distance de freinage plus la distance qu'il parcourt en une minute, l'ordinateur de bord de la locomotive transmet à la WIU l'heure prévue de l'arrivée du train au passage à niveau.

- Lorsque la WIU reçoit le message de l'arrivée imminente d'un train, il vérifie d'abord le bon fonctionnement des circuits électroniques et de l'équipement de protection (barrières et feux clignotants), le cas échéant. S'il comporte un sous-système «véhicule immobilisé», il vérifie si le passage à niveau est libre. Le système répond soit par «OK», soit par «NON OK», en indiquant, par un code, la raison.

- Si la locomotive reçoit un message «NON OK», ou si elle ne reçoit aucun message, l'équipe de train reçoit un avertissement de s'arrêter (si la voie est bloquée) ou de traverser le passage à niveau à vitesse réduite (si l'équipement de protection ne fonctionne pas). Le principe de la sûreté intégrée est respecté en ce que si elle ne reçoit aucun message, l'équipe de train considère le système défaillant. (Comme il a déjà été noté, la présente étude ne souscrit pas à la recommandation de 1996 de faire arrêter un train si la voie est bloquée par un véhicule, car pour pouvoir détecter l'obstacle suffisamment à l'avance pour que le train puisse s'arrêter, on devrait prévoir une durée d'activation des éléments de protection du passage à niveau trop longue pour être acceptable.)

- Lorsqu'un véhicule utilitaire s'approche d'un passage à niveau, une antenne montée sous le véhicule capte un message au point d'entrée dans la zone du passage à niveau, qui donne l'identification du passage à niveau et la distance jusqu'à l'autre côté du passage à niveau. Le véhicule ajoute sa propre longueur à la distance qui reste à franchir, longueur qui est stockée dans le système selon la classe du véhicule. L'ordinateur de bord du véhicule commence alors à surveiller des messages radio concernant l'état du passage à niveau.

- S'il y a un train qui approche, la WIU indique à l'ordinateur de bord du véhicule l'heure à laquelle celui-ci devra avoir libéré le passage à niveau – soit l'heure à laquelle les barrières s'abaisseront ou l'heure équivalente, s'il n'y a pas de barrières. L'ordinateur de bord calcule le temps qu'il reste alors au véhicule et affiche dans la cabine une indication *danger* ou *sans danger*, compte tenu de sa vitesse actuelle.

- S'il n'y a pas de train qui approche, la WIU transmet un message de *voie libre*. Si l'ordinateur de bord du véhicule détecte l'entrée dans une zone de passage à niveau sans recevoir de message de la WIU, il considère que le système est défaillant et affiche une indication de *danger*. Si le conducteur ne reçoit aucune indication dans la

cabine, il tient pour acquis que le système est défaillant. Lorsque le véhicule quitte la zone d'avertissement, il détecte le transpondeur de sortie et cesse d'être à l'affût de messages concernant le passage à niveau.

Le rapport de 1996 proposait deux choix pour la démonstration des technologies :

- Organiser une démonstration autonome à l'intérieur d'une zone précise, en équipant un petit nombre de véhicules et de locomotives
- S'associer à un projet existant (la plupart aux États-Unis)

Les coûts estimatifs des deux solutions étaient présentés.

4.1 Mise à jour sur les technologies ferroviaires

Comme il a été évoqué dans la section précédente, le rapport de 1996 a examiné diverses technologies de détection de train. Cette mise à jour met en relief certains projets réalisés depuis ce temps, et indique quelles technologies les futurs projets de démonstration pourraient envisager de mettre en œuvre.

Voici les principaux critères auxquels doit répondre l'approche conceptuelle proposée :

- Faire en sorte que seuls les véhicules qui s'apprêtent à franchir un passage à niveau reçoivent un avertissement.
- Donner un avertissement à «délai constant», quelle que soit la vitesse du train, aux véhicules désignés, à la mesure du temps dont ils ont besoin pour traverser les voies ferrées.
- Faire en sorte que tous les systèmes d'avertissement répondent à des principes de sûreté intégrée.

Le deuxième critère nécessite que l'on détecte l'approche d'un train, et que l'on détermine pendant combien de temps le train occupera le passage à niveau. Comme cela suppose l'intégration des données de plusieurs systèmes, il faut connaître l'heure à laquelle le train occupera le passage à niveau, et non pas uniquement le temps qu'il reste avant l'arrivée du train.

Le rapport de 1996 classait les technologies en deux grandes catégories, selon qu'elles étaient articulées sur des dispositifs installés en voie ou à bord de la locomotive.

4.1.1 Systèmes en voie

4.1.1.1 Circuits de voie

Les circuits de voie sont le système de détection le plus ancien et le plus largement utilisé en Amérique du Nord, et tous les systèmes d'avertissement qui équipent actuellement les

passages à niveau (sauf un ou deux) utilisent des circuits de voie. De plus en plus de ces systèmes sont dotés d'une fonction «délai d'avertissement constant», qui mesure la vitesse du train à partir du changement d'impédance dans le circuit de voie à l'approche d'un train. Les systèmes actuels donnent seulement le temps qu'il reste avant l'occupation du passage à niveau par le train.

La capacité pratique d'un circuit de voie est de déclencher un avertissement environ 25 secondes avant l'arrivée d'un train circulant à 160 km/h. Pour des vitesses plus grandes ou des délais d'avertissement plus longs, plusieurs systèmes doivent être raccordés en série. Par exemple, lorsque le programme NAJPTC a examiné les améliorations qu'il faudrait apporter à la technologie classique des circuits de voie pour qu'elle puisse donner des avertissements adéquats sur des lignes où les trains circulent à 175 km/h, il a déterminé que trois dispositifs de détection étaient nécessaires. Cette technologie devient très coûteuse à mettre en oeuvre, surtout lorsque plusieurs circuits d'approche se chevauchent.

Le programme NAJPTC a rejeté la technologie des circuits de voie pour les longs délais/distances d'avertissement, à cause de son coût trop élevé (voir la section 4.1.2.)

4.1.1.2 Magnétomètres

La détection des trains à l'aide de magnétomètres est utilisée dans deux projets pilotes. Un de ces projets vise un passage à niveau privé à faible vitesse, et l'autre, un site de Californie. C'est ce dernier système, plus polyvalent, qui est décrit ci-après.

Le système est développé pour le projet Alameda Corridor – East (ACE), à l'est de Los Angeles. L'objectif est de prévoir de cinq à sept minutes à l'avance l'heure à laquelle le train occupera cinq passages à niveau de Pomona. Cette information doit servir à synchroniser le cycle de fonctionnement des feux de circulation routière environnants avec le passage des trains. Cela est particulièrement important dans le cas où les feux de circulation routière sont asservis aux systèmes d'avertissement du passage à niveau. Le système sera aussi utilisé par les services d'intervention en cas d'urgence pour déterminer les passages à niveau qu'ils devront contourner.

Le système fait appel à une série de magnétomètres installés à environ un mille (1,6 km) de distance l'un de l'autre. Ces magnétomètres utilisent une interface radio à étalement du spectre pour signaler à un ordinateur central la présence d'un train et sa vitesse, lequel établit les prévisions d'occupation.

À l'heure actuelle, comme les capteurs magnétométriques ne peuvent mesurer la vitesse du train que lorsqu'il entre dans leur zone et qu'il la quitte, on ne peut mesurer l'accélération en continu. Toutefois, en plaçant judicieusement les capteurs, on pourra savoir assez précisément si le train roule à vitesse constante ou s'il accélère ou ralentit. Or, cette information est essentielle pour faire des prévisions exactes de l'heure d'occupation du passage à niveau par le train. L'installation du projet ACE n'est pas à sûreté intégrée, mais le système de détection est capable d'autodiagnostics, c.-à-d. qu'il

peut reconnaître une situation où un magnétomètre ne peut pas être lu. Il est donc possible de concevoir le système pour qu'il soit à sûreté intégrée.

4.1.2 Systèmes à bord de la locomotive

4.1.2.1 Systèmes à transpondeurs

Deux systèmes de localisation (ou LDS, pour *location determination system*) sont actuellement en service, ayant atteint leurs derniers stades de développement. L'un est situé dans le corridor nord-est d'Amtrak, entre New York et Boston, et l'autre sur le réseau de la New Jersey Transit Authority. Ces systèmes sont conçus pour être complémentaires des systèmes fixes et pour indiquer au mécanicien de la locomotive la vitesse maximale permise dans la zone où il se trouve et la vitesse maximale qui sera permise dans la zone suivante. Si le mécanicien dépasse la vitesse permise, le système embarqué applique automatiquement les freins.

Ni l'un ni l'autre de ces systèmes n'est interconnecté avec les systèmes d'avertissement de passage à niveau et il serait très difficile de les modifier pour y ajouter cette fonctionnalité. Sans compter que, mises à part ces deux cas d'application, toute l'industrie ferroviaire nord-américaine est farouchement contre l'utilisation de transpondeurs, car elle estime qu'ils posent d'importants problèmes d'entretien.

4.1.2.2 Système de positionnement global (GPS)

Deux cas d'utilisation du GPS en tant que dispositif de localisation embarqué ont été recensés.

1. **Système de commande incrémentale des trains (ITCS) :** Il s'agit d'un système breveté que l'on est à installer au Michigan, sur une ligne grande vitesse de transport de voyageurs entre Detroit et Chicago. Il s'étend sur environ 55 km (35 mi) de voie jusqu'à maintenant. Le LDS mis en oeuvre est un GPS différentiel, doté de ses propres stations de correction différentielle. Ce système comprend une interface de communication avec les passages à niveau, qui s'ajoute au système d'avertissement classique fondé sur les circuits de voie et permet d'exploiter les trains à des vitesses supérieures à 127 km/h (79 mi/h) — l'ancienne vitesse maximale — sans avoir à multiplier les circuits de voie.

   Les locomotives sont munies d'une base de données sur les passages à niveau. Lorsque la locomotive s'approche d'un passage à niveau, elle indique à un serveur placé en bordure de la voie, au moyen d'un protocole de communications non standard, l'heure à laquelle elle occupera le passage à niveau, compte tenu de sa vitesse actuelle. Si sa vitesse change, elle transmet une mise à jour de son heure d'occupation, compte tenu de sa nouvelle vitesse. Ces mises à jour ne sont transmises qu'aux six secondes.

2. **North American Joint Positive Train Control (NAJPTC) Program :** Il s'agit d'un système à architecture ouverte que l'on est à installer en Illinois, sur une ligne grande

vitesse de transport de voyageurs entre Chicago et St. Louis. La zone couverte dans un premier temps fait environ 195 km (120 mi) de longueur. L'essai du système doit avoir lieu cette année [en 2003] et on devrait commencer à l'exploiter à des grandes vitesses au cours du deuxième trimestre de 2005. Le LDS pour ce système est un GPS différentiel qui utilise le système de correction différentielle de la Garde côtière des États-Unis. Au GPS différentiel s'ajoute un système de navigation par inertie. Ce système offre lui aussi une interface avec les systèmes des passages à niveau et prend ainsi la relève des systèmes classiques pour appuyer les liaisons grande vitesse.

Dans le système NAJPTC, les trains de voyageurs sont équipés pour déclencher les systèmes d'avertissement des passages à niveau. Le système à bord de la locomotive prévoit l'heure d'occupation du passage à niveau en fonction des caractéristiques du train, de sa vitesse, des réglages des dispositifs de commande, de la déclivité de la voie et des lois de la physique. Les prévisions devraient ainsi être plus précises, et les mises à jour moins nombreuses. Selon le système NAJPTC, les locomotives communiquent avec la WIU au moins 3,5 minutes à l'avance.

Les concepteurs du système NAJPTC veulent en faire le fondement des normes industrielles nord-américaines.

4.2 Mise à jour sur les technologies pour poids lourds

Du côté des poids lourds, le rapport de 1996 recommandait l'utilisation d'un ordinateur de bord assisté de transpondeurs, d'antennes et de lecteurs pour détecter l'entrée et la sortie, et pour lire la distance jusqu'au passage à niveau. Cette voie peut encore être intéressante à suivre pour le déploiement de STI en 2003, mais des événements récents survenus en Amérique du Nord peuvent aussi influer sur la direction que prendront les STI.

Cette mise à jour offre deux points de vue nouveaux sur les technologies pour poids lourds :

1. une revue du degré de pénétration de la technologie dans les entreprises de camionnage du Canada;
2. un aperçu des exigences réglementaires auxquelles sera assujetti le transport des marchandises dangereuses lors du déploiement des technologies fondées sur les transpondeurs aux États-Unis.

4.2.1 Utilisation de systèmes embarqués pour poids lourds – Revue quantitative

Le rapport de 1996 est muet sur le degré de pénétration de certaines technologies dans les parcs de camions. De fait, on dispose de peu de statistiques sur l'utilisation de systèmes embarqués pour poids lourds au Canada. Et il n'existe pas beaucoup plus de données sur l'utilisation de ces systèmes dans le monde. Au Canada, les données de nature technologique ne font pas partie de l'enquête annuelle de Statistique Canada auprès des

entreprises de camionnage pour compte d'autrui : personne ne collige ces données. Mais même si elles étaient colligées, elles ne vaudraient que pour les parcs gérés par des transporteurs pour compte d'autrui, laissant de côté les parcs de véhicules privés.

Ainsi, les seules données accessibles, issues de méthodes de collecte fiables, sont celles que recueillent les provinces à l'occasion d'enquêtes routières. Ces enquêtes sont menées en marge de projets précis, comme les inspections de la Commercial Vehicle Safety Alliance (CVSA), ou pendant des périodes charnières, comme la déréglementation de 1988.

À ce jour, la collecte de données la plus importante a eu lieu en 1999, lors d'une enquête nationale menée par les provinces et Transports Canada (TC). Plus de 65 000 observations ont été faites, concernant au moins 400 000 trajets de véhicules lourds dans tout le Canada. Plus de 80 p. 100 de ces trajets étaient concentrés au Québec et en Ontario. Cette enquête s'est étalée sur une semaine, en juin 1999. Il se peut que des véhicules immatriculés aux États-Unis qui circulaient dans les zones de l'enquête aient été pris en compte.

L'Ontario mène périodiquement des enquêtes semblables. Les dernières remontent à 1988 et 1995. Les résultats de ces enquêtes aident à cerner l'évolution des systèmes embarqués, puisque certaines questions portent sur les technologies utilisées par les entreprises de camionnage. Pour l'enquête de 1995, 68 points d'inspection avaient été établis dans toute la province : au total, 31 860 véhicules ont été sondés.

4.2.2 Résultats et évolution

L'analyse des données recueillies au cours de ces enquêtes révèle que certaines entreprises de camionnage ont pris le virage des technologies embarquées, mais pas toutes, loin s'en faut. Le tableau 1 présente les résultats de trois enquêtes réalisées en Ontario à trois périodes différentes. Le tableau 2 donne les pourcentages pour tout le Canada en 1999.

Tableau 1 : Évolution de l'utilisation des technologies embarquées en Ontario (%)

	1988	1995	1999
Tachygraphe	30,0	16,0	7,0
Ordinateur de bord	4,0	13,2	17,0
Communications par satellite	s.o.	6,8	15,0

Sources : Enquêtes routières du Ministère des Transports de l'Ontario (MTO), Ontario, 1988, 1995; enquête routière du Conseil canadien des administrateurs en transport motorisé (CCATM), 1999.

Tableau 2 : Utilisation des technologies embarquées au Canada (%)

	Canada 1999
Tachygraphe	10,0
Ordinateur de bord	17,6
Communications par satellite	13,0

Source : Enquête routière du CCATM, 1999.

Voici ce qui se dégage de ces données : en 1999, 7 p. 100 des camions immatriculés en Ontario étaient équipés d'un tachygraphe, comparativement à 10 p. 100 pour l'ensemble du Canada. Par ailleurs, 15 p. 100 des entreprises de camionnage de l'Ontario étaient équipées d'un système de communication par satellite, par rapport à 13 p. 100 de toutes les entreprises du Canada. Ces statistiques suscitent également les observations suivantes :

- Dix pour cent des entreprises de camionnage du Canada utilisent encore la technologie du tachygraphe. Mais les données ontariennes, qui couvrent une décennie, révèlent un déclin de cette technologie. Il demeure intéressant de constater que cette technologie est toujours en usage.

- La catégorie des ordinateurs de bord englobe probablement les véritables ordinateurs de bord et les systèmes «Tripmaster». Cette dernière technologie utilise un seul des composants d'un véritable ordinateur de bord. Elle a été classée dans une catégorie à part au cours de l'enquête menée en Ontario en 1995. Ainsi, un fort pourcentage d'entreprises de camionnage canadiennes y ont actuellement recours (17,6 p. 100). Mais l'examen des données recueillies en Ontario en 1995 et en 1999 révèle que cette technologie a progressé lentement au cours des quatre ans d'écart.

- La technologie des satellites peut être considérée à la fois comme une technologie de communication et une technologie de gestion des parcs de véhicules et des conducteurs. Au Canada, en 1999, 13 p. 100 des entreprises de camionnage avaient recours, sous une forme ou une autre, à la technologie des satellites. Il est intéressant de constater la progression relativement rapide de ces technologies de 1995 à 1999. Ainsi, selon l'enquête ontarienne, les systèmes de communication par satellite auraient fait un bond de 6,8 p. 100 à 15 p. 100 au cours de cette période.

Ces enquêtes contiennent aussi de l'information concernant d'autres technologies utilisées par les entreprises de camionnage (voir le tableau 3).

Tableau 3 : Utilisation des technologies (%)

	1995 (Ontario)	1999 (Ontario)	1999 (Canada)
Capteur électronique, transpondeur	0,4	4,0	s.o.
Téléavertisseur	7,5	12,0	14,6
Cellulaire	35,0	48,0	53,0
Radio de compagnie	11,5	18,0	24,0

Sources : Enquête routière du MTO, Ontario, 1995; enquête routière du CCATM, 1999.

entreprises de camionnage pour compte d'autrui : personne ne collige ces données. Mais même si elles étaient colligées, elles ne vaudraient que pour les parcs gérés par des transporteurs pour compte d'autrui, laissant de côté les parcs de véhicules privés.

Ainsi, les seules données accessibles, issues de méthodes de collecte fiables, sont celles que recueillent les provinces à l'occasion d'enquêtes routières. Ces enquêtes sont menées en marge de projets précis, comme les inspections de la Commercial Vehicle Safety Alliance (CVSA), ou pendant des périodes charnières, comme la déréglementation de 1988.

À ce jour, la collecte de données la plus importante a eu lieu en 1999, lors d'une enquête nationale menée par les provinces et Transports Canada (TC). Plus de 65 000 observations ont été faites, concernant au moins 400 000 trajets de véhicules lourds dans tout le Canada. Plus de 80 p. 100 de ces trajets étaient concentrés au Québec et en Ontario. Cette enquête s'est étalée sur une semaine, en juin 1999. Il se peut que des véhicules immatriculés aux États-Unis qui circulaient dans les zones de l'enquête aient été pris en compte.

L'Ontario mène périodiquement des enquêtes semblables. Les dernières remontent à 1988 et 1995. Les résultats de ces enquêtes aident à cerner l'évolution des systèmes embarqués, puisque certaines questions portent sur les technologies utilisées par les entreprises de camionnage. Pour l'enquête de 1995, 68 points d'inspection avaient été établis dans toute la province : au total, 31 860 véhicules ont été sondés.

4.2.2 Résultats et évolution

L'analyse des données recueillies au cours de ces enquêtes révèle que certaines entreprises de camionnage ont pris le virage des technologies embarquées, mais pas toutes, loin s'en faut. Le tableau 1 présente les résultats de trois enquêtes réalisées en Ontario à trois périodes différentes. Le tableau 2 donne les pourcentages pour tout le Canada en 1999.

Tableau 1 : Évolution de l'utilisation des technologies embarquées en Ontario (%)

	1988	1995	1999
Tachygraphe	30,0	16,0	7,0
Ordinateur de bord	4,0	13,2	17,0
Communications par satellite	s.o.	6,8	15,0

Sources : Enquêtes routières du Ministère des Transports de l'Ontario (MTO), Ontario, 1988, 1995; enquête routière du Conseil canadien des administrateurs en transport motorisé (CCATM), 1999.

Tableau 2 : Utilisation des technologies embarquées au Canada (%)

	Canada 1999
Tachygraphe	10,0
Ordinateur de bord	17,6
Communications par satellite	13,0

Source : Enquête routière du CCATM, 1999.

Voici ce qui se dégage de ces données : en 1999, 7 p. 100 des camions immatriculés en Ontario étaient équipés d'un tachygraphe, comparativement à 10 p. 100 pour l'ensemble du Canada. Par ailleurs, 15 p. 100 des entreprises de camionnage de l'Ontario étaient équipées d'un système de communication par satellite, par rapport à 13 p. 100 de toutes les entreprises du Canada. Ces statistiques suscitent également les observations suivantes :

- Dix pour cent des entreprises de camionnage du Canada utilisent encore la technologie du tachygraphe. Mais les données ontariennes, qui couvrent une décennie, révèlent un déclin de cette technologie. Il demeure intéressant de constater que cette technologie est toujours en usage.

- La catégorie des ordinateurs de bord englobe probablement les véritables ordinateurs de bord et les systèmes «Tripmaster». Cette dernière technologie utilise un seul des composants d'un véritable ordinateur de bord. Elle a été classée dans une catégorie à part au cours de l'enquête menée en Ontario en 1995. Ainsi, un fort pourcentage d'entreprises de camionnage canadiennes y ont actuellement recours (17,6 p. 100). Mais l'examen des données recueillies en Ontario en 1995 et en 1999 révèle que cette technologie a progressé lentement au cours des quatre ans d'écart.

- La technologie des satellites peut être considérée à la fois comme une technologie de communication et une technologie de gestion des parcs de véhicules et des conducteurs. Au Canada, en 1999, 13 p. 100 des entreprises de camionnage avaient recours, sous une forme ou une autre, à la technologie des satellites. Il est intéressant de constater la progression relativement rapide de ces technologies de 1995 à 1999. Ainsi, selon l'enquête ontarienne, les systèmes de communication par satellite auraient fait un bond de 6,8 p. 100 à 15 p. 100 au cours de cette période.

Ces enquêtes contiennent aussi de l'information concernant d'autres technologies utilisées par les entreprises de camionnage (voir le tableau 3).

Tableau 3 : Utilisation des technologies (%)

	1995 (Ontario)	1999 (Ontario)	1999 (Canada)
Capteur électronique, transpondeur	0,4	4,0	s.o.
Téléavertisseur	7,5	12,0	14,6
Cellulaire	35,0	48,0	53,0
Radio de compagnie	11,5	18,0	24,0

Sources : Enquête routière du MTO, Ontario, 1995; enquête routière du CCATM, 1999.

L'identification électronique des véhicules est pratiquée en Ontario, en raison de certains projets reliés aux STI, comme la perception automatique des péages qui utilise des transpondeurs, sur l'autoroute 407 près de Toronto, et un projet mené sous l'égide de l'Agence des douanes et du revenu du Canada, à Windsor.

Il convient de noter qu'un nombre impressionnant de parcs de véhicules sont équipés de radios de compagnie. Cette technologie a même progressé dans certaines entreprises d'Ontario, de 1995 à 1999.

L'enquête routière établissait également une distinction entre les véhicules, selon leur origine. Il est donc possible de savoir si la présence dans l'échantillon de véhicules immatriculés aux États-Unis a joué un rôle. Le tableau 4 fait la distinction entre les véhicules immatriculés aux États-Unis et ceux immatriculés en Ontario.

Tableau 4 : Utilisation des technologies en fonction du lieu d'immatriculation des véhicules (1995)

Technologies	Ontario	É.-U.
Tachygraphe	14 %	7 %
Ordinateur de bord	9 %	29 %
Tripmaster	s.o.	s.o.
Satellite	4 %	29 %
Cellulaire	44 %	29 %
Téléavertisseur	9 %	11 %
Radio de compagnie	9 %	4 %

Source : Enquête routière du MTO, Ontario, 1995.

Le tableau 4 permet de comparer seulement l'Ontario et les États-Unis, car l'enquête de 1995 ne couvrait que l'Ontario. Le tableau 5 compare les véhicules immatriculés au Canada et ceux immatriculés aux États-Unis qui ont participé à l'enquête de 1999.

Tableau 5 : Utilisation des technologies en fonction du lieu d'immatriculation des véhicules (1999)

Technologies	Canada	É.-U.
Tachygraphe	10,0 %	11,0 %
Ordinateur de bord	15,0 %	30,0 %
Tripmaster	2,6 %	5,5 %
Satellite	13,0 %	35,0 %
Cellulaire	54,0 %	48,0 %
Téléavertisseur	14,6 %	15,0 %
Radio de compagnie	24,0 %	20,0 %

Source : Enquête routière du CCATM, 1999.

Le tableau 5 montre que le taux de pénétration de technologies comme les ordinateurs de bord et les systèmes de communication par satellite est plus élevé aux États-Unis qu'au Canada. À titre d'exemple, en 1999, 35 p. 100 des véhicules immatriculés aux États-Unis utilisaient une technologie embarquée (soit un ordinateur de bord, soit un Tripmaster),

alors que ces mêmes technologies n'équipaient que 17,6 p. 100 des véhicules immatriculés au Canada. Quant à la technologie des satellites, 35 p. 100 des véhicules américains l'utilisaient, comparativement à seulement 13 p. 100 des véhicules canadiens.

Il convient de noter que les véhicules immatriculés aux États-Unis composaient 10 p. 100 de l'échantillon de l'enquête de 1999.

Les résultats de l'enquête réalisée en Ontario en 1995 ont permis de faire des comparaisons interrégionales, que l'on trouve au tableau 6.

Tableau 6 : Utilisation (en %) des technologies dans diverses régions de l'Ontario en fonction du lieu d'immatriculation des véhicules (enquête routière de 1995)

	Sud-ouest		Centre		Est		Nord		Nord-ouest	
	Can.	É.-U.	Can.	É.-U.	Can.	É.-U.	Can.	É.-U.	Can.	É.-U.
Tachygraphe	15	13	17	13	15	11	17	17	15	29
Ordinateur de bord	13	28	12	27	14	31	11	27	13	33
Satellite	8	30	5	26	9	18	5	31	8	17
Cellulaire	41	28	38	24	41	21	28	22	23	18
Téléavertisseur	8	13	7	13	8	14	2	8	1	4
Radio de compagnie	7	3	11	5	7	2	21	6	28	6

Nota : Aucune donnée régionale n'a été recueillie concernant le Tripmaster.
Sud-ouest : corridor Toronto-Windsor-Toronto-Niagara Falls; Centre : région de Kingston;
Est : corridor Ottawa-Cornwall; Nord : région de Timmins; Nord-ouest : région de Thunder Bay
Source : Enquête routière du MTO, Ontario, 1995.

L'enquête routière de 1999 contient également de l'information sur les types de véhicules qui utilisaient les technologies. Les véhicules sont classés par catégorie selon qu'ils sont exploités par un transporteur pour compte d'autrui ou qu'ils appartiennent à une entreprise privée, qui les exploite pour ses propres besoins. De plus, des relations peuvent être établies selon le type de trajet, la valeur du chargement et la distance parcourue (voir le tableau 7).

On peut voir, par exemple, que l'utilisation de technologies comme les satellites et les ordinateurs de bord a un lien avec la distance parcourue par le véhicule. Comme certains véhicules parcourent de longues distances, parfois à l'étranger, il est possible que les transporteurs aient recours à ces technologies pour surveiller les véhicules. Ces technologies peuvent aussi s'avérer utiles dans le cas des véhicules qui doivent faire des livraisons «juste à temps».

L'identification électronique des véhicules est pratiquée en Ontario, en raison de certains projets reliés aux STI, comme la perception automatique des péages qui utilise des transpondeurs, sur l'autoroute 407 près de Toronto, et un projet mené sous l'égide de l'Agence des douanes et du revenu du Canada, à Windsor.

Il convient de noter qu'un nombre impressionnant de parcs de véhicules sont équipés de radios de compagnie. Cette technologie a même progressé dans certaines entreprises d'Ontario, de 1995 à 1999.

L'enquête routière établissait également une distinction entre les véhicules, selon leur origine. Il est donc possible de savoir si la présence dans l'échantillon de véhicules immatriculés aux États-Unis a joué un rôle. Le tableau 4 fait la distinction entre les véhicules immatriculés aux États-Unis et ceux immatriculés en Ontario.

Tableau 4 : Utilisation des technologies en fonction du lieu d'immatriculation des véhicules (1995)

Technologies	Ontario	É.-U.
Tachygraphe	14 %	7 %
Ordinateur de bord	9 %	29 %
Tripmaster	s.o.	s.o.
Satellite	4 %	29 %
Cellulaire	44 %	29 %
Téléavertisseur	9 %	11 %
Radio de compagnie	9 %	4 %

Source : Enquête routière du MTO, Ontario, 1995.

Le tableau 4 permet de comparer seulement l'Ontario et les États-Unis, car l'enquête de 1995 ne couvrait que l'Ontario. Le tableau 5 compare les véhicules immatriculés au Canada et ceux immatriculés aux États-Unis qui ont participé à l'enquête de 1999.

Tableau 5 : Utilisation des technologies en fonction du lieu d'immatriculation des véhicules (1999)

Technologies	Canada	É.-U.
Tachygraphe	10,0 %	11,0 %
Ordinateur de bord	15,0 %	30,0 %
Tripmaster	2,6 %	5,5 %
Satellite	13,0 %	35,0 %
Cellulaire	54,0 %	48,0 %
Téléavertisseur	14,6 %	15,0 %
Radio de compagnie	24,0 %	20,0 %

Source : Enquête routière du CCATM, 1999.

Le tableau 5 montre que le taux de pénétration de technologies comme les ordinateurs de bord et les systèmes de communication par satellite est plus élevé aux États-Unis qu'au Canada. À titre d'exemple, en 1999, 35 p. 100 des véhicules immatriculés aux États-Unis utilisaient une technologie embarquée (soit un ordinateur de bord, soit un Tripmaster),

alors que ces mêmes technologies n'équipaient que 17,6 p. 100 des véhicules immatriculés au Canada. Quant à la technologie des satellites, 35 p. 100 des véhicules américains l'utilisaient, comparativement à seulement 13 p. 100 des véhicules canadiens.

Il convient de noter que les véhicules immatriculés aux États-Unis composaient 10 p. 100 de l'échantillon de l'enquête de 1999.

Les résultats de l'enquête réalisée en Ontario en 1995 ont permis de faire des comparaisons interrégionales, que l'on trouve au tableau 6.

Tableau 6 : Utilisation (en %) des technologies dans diverses régions de l'Ontario en fonction du lieu d'immatriculation des véhicules (enquête routière de 1995)

	Sud-ouest		Centre		Est		Nord		Nord-ouest	
	Can.	É.-U.	Can.	É.-U.	Can.	É.-U.	Can.	É.-U.	Can.	É.-U.
Tachygraphe	15	13	17	13	15	11	17	17	15	29
Ordinateur de bord	13	28	12	27	14	31	11	27	13	33
Satellite	8	30	5	26	9	18	5	31	8	17
Cellulaire	41	28	38	24	41	21	28	22	23	18
Téléavertisseur	8	13	7	13	8	14	2	8	1	4
Radio de compagnie	7	3	11	5	7	2	21	6	28	6

Nota : Aucune donnée régionale n'a été recueillie concernant le Tripmaster.
Sud-ouest : corridor Toronto-Windsor-Toronto-Niagara Falls; Centre : région de Kingston;
Est : corridor Ottawa-Cornwall; Nord : région de Timmins; Nord-ouest : région de Thunder Bay
Source : Enquête routière du MTO, Ontario, 1995.

L'enquête routière de 1999 contient également de l'information sur les types de véhicules qui utilisaient les technologies. Les véhicules sont classés par catégorie selon qu'ils sont exploités par un transporteur pour compte d'autrui ou qu'ils appartiennent à une entreprise privée, qui les exploite pour ses propres besoins. De plus, des relations peuvent être établies selon le type de trajet, la valeur du chargement et la distance parcourue (voir le tableau 7).

On peut voir, par exemple, que l'utilisation de technologies comme les satellites et les ordinateurs de bord a un lien avec la distance parcourue par le véhicule. Comme certains véhicules parcourent de longues distances, parfois à l'étranger, il est possible que les transporteurs aient recours à ces technologies pour surveiller les véhicules. Ces technologies peuvent aussi s'avérer utiles dans le cas des véhicules qui doivent faire des livraisons «juste à temps».

Tableau 7 : Utilisation (en %) des technologies selon divers critères (enquête routière de 1999)

	Par trajet		Chargement (tonne/km)		Distance	
	Pour compte d'autrui	Parc privé	Pour compte d'autrui	Parc privé	Pour compte d'autrui	Parc privé
Tachygraphe	9,5	9,6	10,8	5	11,2	4
Ordinateur de bord	16,5	6	29,6	8	29,1	6
Tripmaster*	9,8	2,1	4,5	7,8	0,5	2,5
Satellite	16,5	3	25,8	20	28,7	22
Cellulaire	54,5	50,5	72,2	33	73,8	33

* Pour des raisons non précisées, la recherche canadienne a rangé le produit de ce fabricant dans une catégorie distincte; nous avons donc retenu cette catégorie pour préserver la distinction.

Source : Enquête routière du CCATM, 1999.

Les **tachygraphes** étaient utilisés dans une proportion de :

- 9,5 % des voyages effectués par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 9,6 % des voyages effectués par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*
- 10,8 % des tonnes-kilomètres transportées par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 5 % des tonnes-kilomètres transportées par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*
- 11,2 % de la distance parcourue par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 4 % de la distance parcourue par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*

Les tachygraphes semblent être aussi présents dans les véhicules exploités par des parcs privés que dans ceux exploités par des transporteurs pour compte d'autrui. À noter que dans le cas des parcs privés, cette technologie semble être surtout utilisée sur de courtes distances et dans des véhicules transportant de faibles charges.

Les **ordinateurs de bord** étaient utilisés dans une proportion de :

- 16,5 % des voyages effectués par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 6 % des voyages effectués par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*
- 29,6 % des tonnes-kilomètres transportées par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 8 % des tonnes-kilomètres transportées par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*
- 29,1 % de la distance parcourue par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 6 % de la distance parcourue par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*

Tableau 7 : Utilisation (en %) des technologies selon divers critères (enquête routière de 1999)

	Par trajet		Chargement (tonne/km)		Distance	
	Pour compte d'autrui	Parc privé	Pour compte d'autrui	Parc privé	Pour compte d'autrui	Parc privé
Tachygraphe	9,5	9,6	10,8	5	11,2	4
Ordinateur de bord	16,5	6	29,6	8	29,1	6
Tripmaster*	9,8	2,1	4,5	7,8	0,5	2,5
Satellite	16,5	3	25,8	20	28,7	22
Cellulaire	54,5	50,5	72,2	33	73,8	33

* Pour des raisons non précisées, la recherche canadienne a rangé le produit de ce fabricant dans une catégorie distincte; nous avons donc retenu cette catégorie pour préserver la distinction.

Source : Enquête routière du CCATM, 1999.

Les **tachygraphes** étaient utilisés dans une proportion de :

- 9,5 % des voyages effectués par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 9,6 % des voyages effectués par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*
- 10,8 % des tonnes-kilomètres transportées par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 5 % des tonnes-kilomètres transportées par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*
- 11,2 % de la distance parcourue par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 4 % de la distance parcourue par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*

Les tachygraphes semblent être aussi présents dans les véhicules exploités par des parcs privés que dans ceux exploités par des transporteurs pour compte d'autrui. À noter que dans le cas des parcs privés, cette technologie semble être surtout utilisée sur de courtes distances et dans des véhicules transportant de faibles charges.

Les **ordinateurs de bord** étaient utilisés dans une proportion de :

- 16,5 % des voyages effectués par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 6 % des voyages effectués par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*
- 29,6 % des tonnes-kilomètres transportées par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 8 % des tonnes-kilomètres transportées par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*
- 29,1 % de la distance parcourue par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 6 % de la distance parcourue par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*

Il semble exister une corrélation entre la présence d'un ordinateur de bord et la distance parcourue, dans le cas des véhicules exploités par des transporteurs pour compte d'autrui; une telle corrélation ne semble pas exister dans le cas des véhicules de parcs privés. Ces technologies semblent d'ailleurs plus courantes dans les véhicules exploités par des transporteurs pour compte d'autrui que dans les véhicules de parcs privés.

La technologie des **satellites** était utilisée dans une proportion de :

- 16,5 % des voyages effectués par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 3 % des voyages effectués par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*
- 25,8 % des tonnes-kilomètres transportées par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 20 % des tonnes-kilomètres transportées par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*
- 28,7 % de la distance parcourue par des véhicules rangés dans la catégorie *pour compte d'autrui*
- 22 % de la distance parcourue par des véhicules rangés dans la catégorie *parc privé*

La technologie des satellites semble plus fréquente dans les véhicules exploités par des transporteurs pour compte d'autrui que dans les véhicules de parcs privés. De plus, on note davantage sa présence lorsque la distance parcourue est longue et lorsque la charge est lourde, quel que soit le type d'exploitation. En effet, il semble exister une corrélation entre la technologie des satellites et la distance parcourue, peu importe le type d'exploitant.

4.2.3 Exigences réglementaires concernant le transport de marchandises dangereuses par camion

Aux États-Unis, ainsi qu'au Québec et dans le cas de certaines charges en vrac identifiées par une plaque, au Nouveau-Brunswick, les véhicules utilitaires qui transportent des marchandises dangereuses en quantités telles qu'ils doivent porter une plaque doivent s'arrêter à tous les passages à niveau.

Aux États-Unis, l'article 392.10 des CFR Title 49 stipule ce qui suit :

[TRADUCTION]

- Le conducteur d'un véhicule utilitaire qui transporte des marchandises dangereuses en quantités telles que le véhicule doit porter une plaque doit, avant de franchir un passage à niveau : immobiliser son véhicule à une distance d'au plus 50 pieds et d'au moins 15 pieds du rail le plus proche; écouter et regarder dans les deux directions de la voie ferrée pour voir si un train approche; et bien s'assurer qu'aucun train n'approche. Lorsqu'il peut le faire en toute sécurité, le conducteur peut traverser le passage à niveau avec son véhicule embrayé de façon à n'avoir pas besoin de changer

de vitesse pendant la traversée. Le conducteur ne doit pas changer de vitesse pendant la traversée.

Le même règlement s'applique également à tous les autobus transportant des passagers.

Le règlement des États-Unis stipule en outre que le conducteur de tout véhicule utilitaire autre qu'un véhicule qui transporte des marchandises dangereuses doit, à l'approche d'un passage à niveau, conduire son véhicule à une vitesse telle qu'il puisse arrêter son véhicule avant le rail le plus proche, et ne doit remettre en marche son véhicule qu'après s'être assuré que la voie est libre.

Les événements tragiques du 11 septembre 2001 aux États-Unis et le déclenchement de la guerre en Irak au printemps 2003 ont fortement sensibilisé les représentants du gouvernement américain et les transporteurs au danger que peut représenter le transport de marchandises dangereuses. On craint surtout que des chargements de marchandises dangereuses tombent entre les mains ou deviennent la cible de terroristes.

Selon les organismes de réglementation des États-Unis, les chargements de marchandises dangereuses constituent tous des cibles potentielles d'actes de terrorisme intérieur et représentent ainsi une menace beaucoup plus grande pour la sécurité publique que la plupart des autres types de chargements. Ils estiment en outre que ces chargements, en particulier les carburants et les produits chimiques, sont une cible de choix pour les terroristes, en raison des nombreux points de vulnérabilité qui y sont associés (expéditeur, transporteur routier, réceptionnaire, infrastructure routière).

La Transportation Security Administration (TSA) et la Federal Motor Carrier Safety Administration (FMCSA) cherchent des moyens d'atténuer les risques reliés au transport de marchandises dangereuses. Les deux organismes proposent des solutions axées sur diverses mesures proactives.

Quatre-vingt quinze pour cent des chargements de marchandises dangereuses sont transportés par la route.

Après avoir lancé un appel d'offres en régime de concurrence dans l'industrie, la FMCSA a attribué un marché financé conjointement par l'Intelligent Transportation Systems Joint Program Office du Département des Transports américain (U.S. DOT). L'équipe de recherche, dirigée par Battelle, mettra à l'essai des technologies existantes qui peuvent constituer des solutions pour atténuer les menaces pour la sécurité dans toute la chaîne de transport des marchandises dangereuses. Cette équipe déploiera et mettra à l'essai plusieurs technologies standard qui augmentent la sécurité des marchandises dangereuses et de leur transport. Voici ces technologies :

- les communications sans fil par satellite ou terrestres (avec GPS), grâce auxquelles un répartiteur peut connaître à tout moment l'emplacement et l'état d'un chargement;
- les boutons d'alarme, qui transmettent en temps réel au répartiteur les messages d'alerte émis par le conducteur;

- l'authentification des conducteurs par un code d'identification (ID) ou un mot de passe entré par le conducteur, ou par l'identification biométrique (reconnaissance d'empreintes digitales);
- les ordinateurs de bord intelligents qui, intégrés à un réseau de communication sans fil et à un système de commande de véhicules à distance, offrent des fonctions de désactivation.

L'évaluation sera axée sur des solutions technologiques conçues pour améliorer la sécurité, la sûreté et l'efficacité des opérations dans toute la chaîne de distribution des marchandises dangereuses.

Les technologies seront soumises à un essai en service réel qui devrait se terminer à la fin de 2004. Pour réaliser les quatre scénarios uniques de transport de marchandises dangereuses élaborés pour l'essai, plusieurs transporteurs, expéditeurs et réceptionnaires, et un total de 25 semi-remorques seront mis à contribution. Chacun des scénarios comprendra le ramassage d'un envoi, puis l'application des technologies à toutes les phases du ramassage, du transport et de la livraison au réceptionnaire, le tout conformément aux exigences particulières de l'essai.

Au Québec, de nouvelles dispositions réglementaires entreront en vigueur en 2004, en vertu desquelles les véhicules de transport de marchandises dangereuses en vrac devront être munis d'un appareil qui enregistrera la vitesse exacte du véhicule, en regard de l'heure et de la date.

4.2.4 Déploiement de technologies de transpondeurs pour transporteurs routiers

Depuis le rapport de 1996, les technologies de transpondeurs ont continué de se développer pour appuyer diverses applications. Des projets comme *E-Z pass* et *HELP* aux États-Unis ont contribué à l'essor des transpondeurs. De plus, les applications aux postes frontaliers entraîneront vraisemblablement une utilisation encore plus généralisée des transpondeurs.

Comme la plupart des applications technologiques ci-dessus suivraient la trace des applications américaines, et comme elles ne s'appliqueraient pas partout au Canada, car ce ne sont pas tous les véhicules qui ont à traverser la frontière Canada – États-Unis, on ne peut se baser sur ces applications pour prévoir la propagation d'une technologie. On peut toutefois affirmer que de nouvelles technologies continueront de voir le jour. Le chapitre 5 aborde la question de l'introduction de nouvelles technologies par les constructeurs automobiles.

Il convient de noter la différence entre la façon dont les transpondeurs sont utilisés dans le secteur du transport ferroviaire et dans celui du transport routier.

- **Dans les applications ferroviaires**, les transpondeurs sont placés dans la voie et les trains s'en servent pour déterminer leur position. Aux États-Unis, l'utilisation de

transpondeurs à ces fins se limite à quelques secteurs où ne s'effectue aucun transport de marchandises. La grande majorité des voies sont donc sans transpondeur et il est peu probable qu'elles en soient dotées dans un avenir prévisible, en raison des difficultés d'entretien et des craintes de vandalisme. Il convient de noter que l'on trouve dans presque toutes les locomotives et wagons des États-Unis des étiquettes d'identification automatique d'équipements (IAE), qui utilisent une technologie semblable. Mais ces étiquettes servent uniquement à transmettre l'identification de la locomotive ou du wagon à un lecteur fixe. La transmission se fait dans un seul sens.

- **Dans les applications routières**, les transpondeurs, placés dans le véhicule, servent à des fins d'identification, de même qu'à la communication de données locales ou d'instructions limitées depuis un site émetteur situé tout près – par exemple un poste de pesée ou une guérite de péage automatisé.

4.3 Mise à jour sur l'architecture et les normes STI

Au moment de la publication du rapport de 1996, l'élaboration de normes relatives aux STI ne faisait que débuter. En même temps, on commençait à penser à une architecture STI. Depuis lors, on a assisté à la mise au point d'une architecture STI complète, laquelle fait une place aux passages à niveau.

Aux États-Unis, la National ITS Architecture offre un cadre de référence commun pour la planification, la définition et l'intégration des systèmes de transports intelligents. Il s'agit d'un produit évolué, résultat de neuf ans de travaux auxquels ont contribué un grand nombre d'acteurs du milieu des STI (praticiens des transports, ingénieurs de systèmes, développeurs de systèmes, spécialistes de la technologie, consultants, etc.). Cette architecture définit :

- les fonctions exigées des STI (p. ex., collecte de données sur la circulation ou demande d'information routière);
- les entités physiques ou sous-systèmes où sont hébergées ces fonctions (p. ex., accotement ou véhicule);
- les flux d'information qui relient ces fonctions et sous-systèmes physiques en un système intégré.

Les normes STI constituent en fait une trousse d'outils pour l'intégration des divers systèmes. Il existe des normes pour le matériel et pour le logiciel et aussi des normes STI, pour les communications et l'échange d'information. Ce dernier type de norme est particulièrement important pour le présent projet.

L'Architecture STI pour le Canada gère la circulation routière aux passages à niveau lorsque les exigences opérationnelles n'exigent pas de fonctions plus avancées (c.-à-d. lorsque les vitesses opérationnelles des trains sont inférieures à 130 km/h). Elle prend en charge aussi bien les systèmes d'avertissement automatisés (feux clignotants et barrières) que les systèmes non automatisés (croix d'avertissement). (À noter que, selon la définition de l'architecture, les systèmes non automatisés soutiennent une seule interface,

entre le sous-système routier et le conducteur.) À ces systèmes d'avertissement classiques peuvent s'ajouter d'autres dispositifs standard de gestion de la circulation. Le système d'avertissement s'active sur notification de l'arrivée d'un train par l'équipement de voie. Le système d'avertissement d'un passage à niveau peut aussi être interconnecté avec les feux de circulation des intersections routières adjacentes; ainsi, la commande locale peut être adaptée aux activités du passage à niveau. Des dispositifs surveillent l'état du matériel et des interfaces; lorsqu'une anomalie est détectée, elle est signalée aux responsables de la voirie et des chemins de fer, au moyen d'interfaces en voie et des interfaces du sous-système de gestion de la circulation. Des interfaces et des services semblables sont prévus pour d'autres types d'intersection multimodale (p. ex., ponts mobiles).

L'architecture canadienne fait référence à l'architecture des États-Unis. Cette dernière est plus complète au chapitre des passages à niveau. Elle comprend les lignes directrices suivantes :

Passages à niveau (PN)

- La fonction PN permet des échanges interactifs en temps réel.
- La fonction PN permet des échanges d'information avec les fonctions des opérations ferroviaires aux fins de la régulation de la circulation ferroviaire.
- La fonction PN permet des échanges d'information avec les fonctions de gestion de la circulation routière aux fins de la coordination de la circulation routière.
- La fonction PN permet des échanges d'information avec les trains qui s'approchent du PN et le franchissent, aux fins de la coordination de la circulation.
- La fonction PN permet des échanges d'information avec les véhicules routiers qui s'approchent du PN et le franchissent, aux fins de la régulation de la circulation.
- Aux PN munis d'un système d'avertissement automatisé, la fonction PN gère la circulation à l'intersection.
- La fonction PN permet l'ajout de dispositifs de signalisation routière standard.
- La fonction PN comporte une fonction anti-collision automatisée pour les véhicules routiers qui s'en approchent.
- La fonction PN comporte une fonction de régulateur d'intersection intelligent (IIC, pour *intelligent intersection controller*) pour la gestion de la circulation routière et de la circulation ferroviaire à l'intersection.
- La fonction IIC commande les dispositifs automatisés de signalisation routière aux PN, aux fins de la gestion de la circulation routière.
- La fonction IIC commande les systèmes d'avertissement automatisé aux PN, y compris les feux clignotants et les barrières bloquant les voies routières et les voies piétonnes.
- La fonction IIC comporte un système de surveillance de l'intersection capable d'établir des états en temps réel de la circulation dans l'intersection.
- La fonction IIC établit des rapports en temps réel de l'état des dispositifs d'avertissement du PN.

- Aux PN munis d'un système d'avertissement automatisé, la fonction PN permet la notification automatique d'une collision aux responsables de la voirie et des chemins de fer.

Ligne à vitesse normale

- La fonction PN comporte un sous-service de ligne à vitesse normale (LVN) pour la gestion de la circulation ferroviaire et de la circulation routière aux PN où les vitesses opérationnelles des trains sont inférieures à 80 mi/h.
- Le sous-service de LVN comprend les systèmes d'avertissement automatisé aux PN désignés.
- Le sous-service LVN comprend les PN à système d'avertissement non automatisé.
- Le sous-service LVN complète les PN à système d'avertissement non automatisé de dispositifs de signalisation routière additionnels.

Ligne à grande vitesse

- La fonction PN comporte un sous-service de ligne à grande vitesse (LGV) pour les PN où les vitesses opérationnelles des trains sont comprises entre 80 et 125 mi/h.
- Le sous-service LGV comprend des dispositifs de signalisation automatisés sur l'accotement qui transmettent l'information concernant la fermeture de la route aux PN situés sur des LGV.
- Le sous-service LGV comporte des dispositifs spéciaux pour améliorer la sécurité.
- Le sous-service LGV interdit l'accès du PN à tout véhicule routier à partir d'un moment prédéterminé (maximum de trois minutes) avant l'arrivée d'un train ou d'un moment indiqué par l'exploitant du train.
- Le sous-service LGV comporte des barrières imparables (p. ex., quatre demi-barrières) pour fermer le PN à la circulation routière, lorque la vitesse permise pour les trains est supérieure à 110 mi/h.
- Les fonctions PN des LGV confirment l'état du PN comme étant «OUVERT» ou «BLOQUÉ» au trafic ferroviaire, en raison d'un obstacle fixe.
- Le sous-service LGV communique l'état du PN aux fonctions des opérations ferroviaires en donnant l'une ou l'autre des indications «AVANCEZ» ou «ARRÊTEZ».
- Le sous-service LGV communique l'état du PN au train en donnant l'une ou l'autre des indications «AVANCEZ» ou «ARRÊTEZ».
- Le sous-service LGV communique l'état du PN aux véhicules routiers en donnant l'une ou l'autre des indications «ARRÊTEZ, UN TRAIN ARRIVE» ou «AVANCEZ».

NOTA : En raison de la restructuration des Volets de services aux utilisateurs et des Services aux utilisateurs de l'Architecture STI pour le Canada, les services aux utilisateurs de l'architecture canadienne ne coïncident pas exactement avec ceux de l'architecture américaine énumérés ci-dessus.

Autre fait important pour le présent projet, le service des normes STI du U.S. DOT a récemment publié une norme sur les communications dédiées à courte distance (CDCD). Cette norme définit les exigences auxquelles doivent répondre les applications qui dépendent du transfert d'information entre des véhicules et des dispositifs fixes en bordure de la route. Généralement, cette communication se produit entre un véhicule en mouvement qui entre dans une zone de communication et un appareil de communication fixe situé sur l'accotement. Il existe de nombreuses catégories d'applications qui utilisent les CDCD. Un bon exemple d'application possible des CDCD est la perception des péages. Selon la nouvelle norme, les communications utiliseront la bande 5,9 GHz.

Cette norme est utilisée pour des communications sans fil haute vitesse à large bande sur de courtes distances, entre des sources d'information ou des postes de transaction situés en bordure de la route et des unités de radio mobile, et entre des appareils portables et des appareils mobiles. Ces communications ont généralement lieu à des distances inférieures à 1 000 m en ligne droite entre des unités fixes et des véhicules circulant à haute vitesse, à basse vitesse ou immobilisés, ou encore entre des véhicules roulant à haute vitesse.

Grâce à cette nouvelle norme, il est possible de penser à des applications pour panneaux à message variable (PMV) et panneaux activés par les véhicules (PAV) aux passages à niveau. La recherche révèle que des panneaux bien ciblés peuvent influer sur le comportement des conducteurs. Là encore, aucune des études sur des PMV ou des PAV à des passages à niveau ne s'est intéressée de façon précise aux conducteurs de poids lourds ou de véhicules d'urgence.

4.4 Systèmes STI de surveillance de la circulation routière

Les technologies STI sont aussi déployées sur les routes. Ainsi, la mise en place de systèmes de vidéosurveillance «en direct» offre aux ingénieurs de la circulation/planificateurs routiers une solution économique au problème de la surveillance des débits de circulation sur les artères critiques et aux intersections clés. Certaines de ces technologies sont peu coûteuses et pourraient probablement jouer un rôle aux passages à niveau. Elles font souvent appel à la vidéo, aux infrarouges et à d'autres techniques de détection «non invasives».

Il existe une technologie émergente susceptible de remplacer les magnétomètres, soit la télédétection par hyperfréquences (RTMS, pour *Remote Traffic Microwave Sensor*). Cette technologie non intrusive met en jeu un détecteur tout temps, peu coûteux et polyvalent, qui détecte la présence de véhicules et mesure divers paramètres de circulation sur plusieurs voies. Ainsi, il capte et communique des données sur la présence et le débit de véhicules, l'intensité de détection, et sur la vitesse et la catégorie des véhicules, dans un maximum de huit zones de détection distinctes définies par l'utilisateur, et jusqu'à 60 m (200 pi) de distance. L'information obtenue est acheminée à des régulateurs existants par des paires de contacts, et à des ordinateurs par un port de communication série RS-232.

Le RTMS est habituellement monté sur des poteaux existants en bordure de la route. Facile à installer et à enlever, il ne nécessite aucun entretien. De plus, ce détecteur multi-zone fonctionne dans toutes les conditions météorologiques. Son installation ne nécessite pas la fermeture de la voie ferrée.

Cette technologie n'a encore jamais été mise à l'essai à un passage à niveau.

4.5 Mise à jour sur la recherche sur les passages à niveau au Minnesota

Il existe dans l'État du Minnesota un programme STI connu sous le nom de programme Guidestar, lequel porte notamment sur la sécurité aux passages à niveau. Deux projets menés en marge de ce programme intéressent tout particulièrement notre recherche.

4.5.1 Signalisation à bord du véhicule

Ce projet a consisté à développer un système de signalisation qui avertit le conducteur, à l'intérieur même du véhicule, d'une situation potentiellement dangereuse à un passage à niveau. Ce système a été installé à bord de 29 autobus scolaires, pour un essai qui a eu lieu au cours de l'année scolaire 1997-1998. Dans un premier temps, le volet «ferroviaire» du système a été installé seulement aux passages à niveau automatisés. Puis, l'essai a été élargi pour englober les passages à niveau non automatisés.

Le système de signalisation à bord du véhicule a été conçu pour transmettre une information au conducteur qui s'approche d'un passage à niveau. Le système s'active lorsqu'un récepteur placé à bord de l'autobus pénètre dans la zone de portée d'un signal radio provenant du passage à niveau. Le système donne deux types d'information : la proximité d'un passage à niveau (alerte de passage à niveau) et la présence d'un train au passage à niveau ou tout près (avertissement de train). Il donne un signal visuel et un signal sonore d'intensité variable. Il est aussi capable de distinguer dans quelle direction circule l'autobus par rapport au passage à niveau, ce qui permet d'éviter les avertissements inutiles à un véhicule qui serait à proximité d'un passage à niveau sans rouler en sa direction.

L'évaluation a été concluante : le système de signalisation à bord du véhicule s'est avéré efficace à avertir les conducteurs d'autobus de la proximité d'un passage à niveau et de la présence d'un train. Ces conclusions résultent d'une série d'entrevues et de sondages menés auprès de conducteurs d'autobus et de membres du personnel de chemins de fer. Les conducteurs d'autobus ont manifesté une confiance plus ou moins grande à l'égard du système, en raison de difficultés d'étalonnage de composants, et d'une mauvaise compréhension du fonctionnement du système. Ce sont les passages à niveau dotés de la fonction directionnelle qui ont recueilli le plus haut degré de confiance de la part des conducteurs d'autobus. Les entrevues ont aussi fait ressortir une inquiétude invariablement associée à toute nouvelle technologie, à savoir la crainte que la technologie supplante l'élément humain dans la prise de décisions sécuritaires au volant.

Ce système n'a pas encore été déployé en service réel ni au Minnesota ni ailleurs.

4.5.2 Système d'avertissement automatique à faible coût pour passages à niveau à faible volume de circulation

Au Minnesota, 70 p. 100 des accidents de la route mortels se produisent à des passages à niveau non automatisés. Dans ce même État, les coûts de conception et d'installation d'un système d'avertissement automatisé varient de 100 000 $US à 150 000 $US. C'est pourquoi on s'est contenté jusqu'à maintenant d'automatiser les passages à niveau les plus fréquentés. Mais en marge du programme Guidestar, un système d'avertissement automatique à faible coût, mais non à sûreté intégrée, pour passages à niveau a été développé et est maintenant à l'essai.

Le système consiste en un GPS placé à bord du train, qui communique avec des régulateurs situés au passage à niveau. Lorsque le train arrive à une distance critique du passage à niveau, un signal radio est envoyé aux régulateurs, lesquels activent les feux d'avertissement. Un avantage du système est que la communication est bidirectionnelle entre le train et les régulateurs. Ainsi, le train peut ralentir avant d'arriver au passage à niveau, si les feux d'avertissement sont en panne. Les régulateurs sont autonomes, c.-à-d. qu'il sont alimentés par des piles rechargées par un panneau solaire.

Le projet comprend trois phases. Les deux premières sont terminées. La phase 1, qui a eu lieu en 2002, a consisté en des simulations effectuées à un seul passage à niveau, avec une seule locomotive. Ce type d'essai sert à évaluer la fiabilité du matériel.

La phase 2, menée en 2003, a comporté des simulations à 10 passages à niveau non automatisés contigus. Huit locomotives ont alors été utilisées. Ces passages à niveau étaient uniquement munis de panneaux de signalisation ferroviaire. Les résultats ont servi à peaufiner la conception et les composants du système. Les chercheurs ont aussi établi et documenté les modes de défaillance. Ils ont mis la dernière main aux documents d'analyse des risques et de conception détaillée, et ils ont perfectionné les protocoles de communications.

La phase 3, présentement en cours, comporte des essais en service réel auxquels participent huit locomotives sur la ligne Twin Cities – South Dakota, jalonnée de 30 passages à niveau à faible volume de circulation. Ces essais permettront d'évaluer l'efficacité sur le plan de la sécurité, le rendement opérationnel, le coût, la fiabilité et les exigences en matière d'entretien du système d'avertissement. Le rapport de cette phase est attendu à la fin de 2004.

4.6 Mise à jour sur la R&D sur les facteurs humains

Les facteurs humains joueront un rôle important dans tout système d'avertissement pour conducteurs de véhicules utilitaires aux passages à niveau, quel qu'il soit. Or, le rapport de 1996 ne comportait pas de recension de la recherche sur les facteurs humains aux passages à niveau. La présente section a pour but de combler cette lacune.

Une revue de la littérature sur les STI et les facteurs humains révèle que la majorité des études sur les collisions aux passages à niveau s'intéressent au comportement des automobilistes et des piétons intrus. Très peu de recherche a été faite sur le comportement des conducteurs de véhicules utilitaires, comme des camions chargés de marchandises dangereuses, des autobus scolaires, des semi-remorques et des véhicules d'urgence (voitures de police, ambulances, camions incendie), aux passages à niveau.

Comme nous le savons tous, le profil des automobilistes diffère de celui des conducteurs de véhicules utilitaires. Les automobilistes sont des personnes qui «prennent des décisions à partir d'une information de quantité et de qualité limitées, en fonction d'un savoir largement façonné par leur expérience selon laquelle il est très rare qu'un train arrive au moment où ils traversent»[1]. Les auteurs de ce rapport n'ont pas pu établir que des panneaux ou des feux de signalisation plus gros ou plus brillants, ou d'autres modifications aux systèmes d'avertissement classiques, ou encore que davantage de programmes d'éducation ou de campagnes de sensibilisation du public avaient mené à une amélioration du comportement des conducteurs aux passages à niveau.

Une collision entre une automobile et un train se solde habituellement par des blessés et/ou des tués parmi les occupants de l'automobile. La recherche sur les conducteurs automobiles semble indiquer que, peu importe le type d'avertissement dont on munira le passage à niveau, il y aura toujours des conducteurs qui voudront défier le danger. L'atelier 2003 du Volpe Center a présenté un exemple de ce type de témérité : à un passage à niveau muni d'une croix d'avertissement, de feux clignotants et de barrières, on a pu observer divers conducteurs (filmés par une caméra vidéo) en train de passer sous les barrières, de les contourner, de doubler d'autres voitures immobilisées. On en a même vu qui étaient prisonniers des barrières abaissées, à l'arrivée du train[2].

Il semble aussi exister un large écart culturel entre les conducteurs de différents pays. En Europe, par exemple, les conducteurs en sont venus à accepter d'avoir à attendre quelques minutes à un passage à niveau, certains allant même jusqu'à couper leur moteur. À l'inverse, attendre à un passage à niveau semble être une chose inacceptable pour les Nord-Américains.

Une étude sur les panneaux d'avertissement extérieurs a révélé que, même si les panneaux avancés portant, par exemple, les inscriptions «Attention aux trains» et «Ne pas s'arrêter sur la voie ferrée» utilisés dans certains pays (Australie, Israël, Royaume-Uni) peuvent s'avérer utiles, il arrive fréquemment que les conducteurs ne prêtent pas attention à la signalisation avancée. Le recours à plusieurs systèmes peut alors être la solution.

Aujourd'hui, la plupart des études portent sur la capacité des conducteurs à détecter des avertissements et éléments de signalisation extérieurs, qu'ils soient visuels (panneaux d'arrêt, marquages sur la chaussée, croix d'avertissement avec et sans feux, croix

---

1 Stackhouse, S., *Effectiveness of Marketing Campaigns for Grade Crossing Safety*, Report MN/RC-1998/02, Minnesota Department of Transportation, 1996. (Traduction)

2 John A. Volpe National Transportation Systems Center, *Highway-Rail Grade Crossing Safety Research Needs Workshop*, June 3-5, 2003, Boston, Massachusetts. (Traduction)

d'avertissement avec feux clignotants, barrières, feux de circulation, ou n'importe quelle combinaison de ces dispositifs) ou sonores (klaxons de train et cloches). Plusieurs facteurs peuvent influer sur l'efficacité et la performance d'un conducteur :

- capacités sensorielles (capacité de voir, d'entendre, de reconnaître)
- capacité et vivacité mentales (pour traiter l'information)
- esprit de décision
- état de vigilance, influencé par la fatigue, l'âge, l'état de santé, la prise de médicaments

D'autres facteurs peuvent avoir une influence :

- environnement : jour/nuit, éclairage
- conditions météorologiques : neige, pluie, grêle, vent, brouillard
- géométrie du passage à niveau
- conditions à l'intérieur du véhicule : bruit, température, odeurs, vibrations

Très peu de recherche a été effectuée sur les systèmes d'avertissement à bord du véhicule utilitaire, comparativement aux systèmes embarqués de navigation et de régulation maintenant offerts aux automobilistes. Ce déséquilibre peut tenir à plusieurs facteurs :

- peu de véhicules utilitaires existants sont munis de la technologie nécessaire pour capter et afficher ces avertissements;

- les taux d'incidents relativement faibles ne semblent pas justifier un investissement dans ce genre de technologie;

- les exploitants/conducteurs ne sont pas disposés à assumer les coûts de mise en œuvre des nouvelles technologies, à moins que les systèmes d'avertissement à bord du véhicule viennent se greffer à des technologies existantes.

Il se peut que le comportement des conducteurs de véhicules utilitaires aux passages à niveau suscite plus de questions que de réponses. De fait, plusieurs questions sont incontournables :

- Quelle est la cause fondamentale des accidents mettant en cause des conducteurs de véhicules utilitaires aux passages à niveau? La géométrie du passage à niveau, les systèmes d'avertissement, l'environnement?
- Les conducteurs de véhicules utilitaires perçoivent-ils la signalisation ferroviaire de la même façon que les automobilistes?
- Parmi les facteurs qui influent sur les automobilistes, quels sont ceux qui influent aussi sur les conducteurs de véhicules utilitaires (p. ex., temps d'attente, désir de déjouer le système)?
- Quels types d'avertissements embarqués pourraient aider le conducteur de véhicule utilitaire à prendre de meilleures décisions aux passages à niveau (p. ex., «Arrêtez» et

«Continuez»; «30 secondes avant l'arrivée d'un train», feu vert pour *allez*, feu rouge pour *arrêtez*; signaux sonores seuls ou combinés à des signaux visuels)?
- Quelles technologies externes pourraient améliorer les prises de décisions chez les conducteurs de véhicules utilitaires (p. ex., panneaux à message variable, feux rouges et feux verts, signaux sonores en bordure de la voie)?
- Les avertissements affichés à l'extérieur (p. ex., les messages du panneau à message variable) seraient-ils plus efficaces s'ils étaient affichés en même temps à l'intérieur du véhicule (p. ex., sur un écran cathodique ou un écran à diode électro-luminescente (DEL) ou à affichage à cristaux liquides (ACL))?

Les facteurs humains sont un domaine largement exploré par les études actuelles sur les STI, mais il ne semble exister aucune recherche qui s'intéresse précisément aux véhicules utilitaires aux passages à niveau. La participation à l'atelier R&D 2003 du Volpe Center a confirmé cet état de fait. La recherche future devrait porter sur ce qui suit :

- Étudier dans quelle mesure les systèmes d'avertissement à bord du véhicule peuvent améliorer la sécurité des conducteurs de véhicules utilitaires aux passages à niveau.
- Analyser la question de l'interfaçage des systèmes d'avertissement embarqués destinés aux conducteurs de véhicules utilitaires.
- Étudier les effets des avertissements visuels, sonores et tactiles sur les conducteurs de véhicules utilitaires.
- Élaborer des critères de conception pour les avertissements visuels, sonores et tactiles.
- Proposer des pistes de recherche à explorer.

4.7 Collisions aux passages à niveau

Cette section présente les dernières statistiques du Bureau de la sécurité des transports du Canada.

Comme on peut le constater, une des principales conséquences des collisions entre véhicules lourds et trains est le déraillement du train.

Les tableaux 8 et 9 présentent les statistiques de collision et de déraillement, par province.

Tableau 8 : Collisions mettant en cause des véhicules lourds

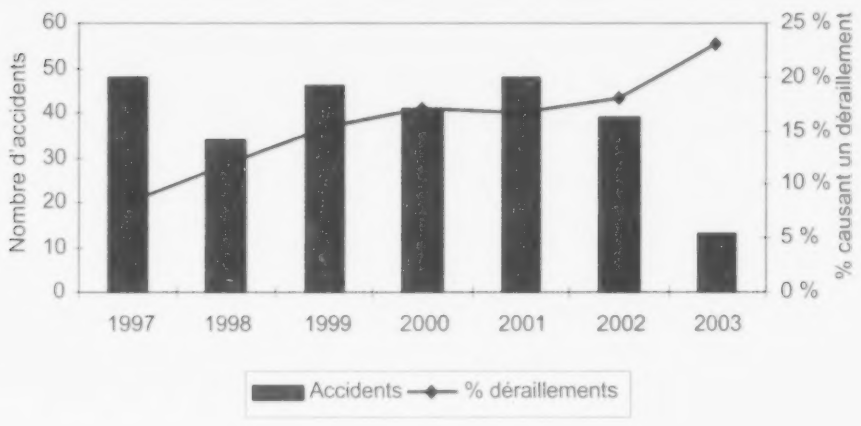
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Total
Ont.	14	9	15	13	10	9	6	76
N.-B.	2	0	0	0	0	0	2	4
N.-É.	0	1	0	1	1	0	0	3
Man.	3	5	3	1	4	4	4	24
Sask.	5	4	4	7	9	4	8	41
Alb.	11	7	7	9	12	11	8	65
C.-B.	7	4	9	2	3	6	5	36
Qué.	6	4	8	8	9	5	6	46
Total	48	34	46	41	48	39	39	295

Tableau 9 : Collisions mettant en cause des véhicules lourds et causant un déraillement

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Total
Ont.	2	2	6	1	0	1	1	13
Man.	0	1	0	0	0	1	0	2
Sask.	0	1	0	1	2	0	0	4
Alb.	1	0	1	2	3	2	1	10
C.-B.	1	0	0	0	1	1	0	3
Qué.	0	0	0	3	2	2	2	9
Total	4	4	7	7	8	7	4	41

Les statistiques révèlent que l'Ontario, l'Alberta et le Québec comptent chaque année pour quelque 65 p. 100 des collisions qui surviennent au Canada. De plus, une proportion croissante des collisions se soldent par un déraillement du train (voir le diagramme 1).

Diagramme 1 : Pourcentage croissant des collisions aux passages à niveau causant le déraillement du train



Collisions mettant en cause des autobus et des véhicules d'urgence

Depuis 1997, trois collisions sont survenues avec un autobus et une seule, avec un véhicule d'urgence. Ces collisions n'ont causé que des dommages matériels et n'ont fait ni mort ni blessé, et le train n'a pas déraillé. Elles sont toutes survenues à des passages à niveau non automatisés. La collision mettant en cause un véhicule d'urgence a eu lieu à un passage à niveau public non automatisé.

Tout au long du présent projet, les transporteurs routiers qui transportent des marchandises dangereuses ont exprimé leur aversion de l'arrêt obligatoire que doivent faire les camions aux passages à niveau lorsqu'ils transportent une charge telle qu'ils doivent porter une plaque. Ils ont fait valoir que les conducteurs ont toujours peur de se faire frapper par l'arrière lorsqu'ils s'arrêtent. Or, les données du tableau 10 concernant la province de Québec ne semblent pas confirmer les craintes des conducteurs.

Tableau 10 : Collisions par l'arrière aux passages à niveau mettant en cause des véhicules transportant des marchandises dangereuses, au Québec (1995-1999)

Date	Municipalité	Nombre de véhicules impliqués	Type de véhicule lourd	Morts
10-12-95	Roberval	2	Camion-citerne (semi-remorque)	0
18-06-97	Candiac	2	Camion porteur	0
11-02-97	Valleyfield	3	Camion-citerne (semi-remorque)	0

Source : Ministère des Transports du Québec

4.8 Sommaire de la mise à jour

Pour résumer cette section :

- La situation concernant les technologies STI applicables aux véhicules utilitaires transportant des marchandises dangereuses a très peu changé depuis 1996.
- Les statistiques sur les collisions entre des véhicules utilitaires et des trains sont les mêmes.
- L'évolution des technologies STI pour passages à niveau a été plus lente que prévu depuis le rapport de 1996. Malgré quelques études et projets de démonstration de ces technologies, les connaissances sur les facteurs humains influant sur les conducteurs de véhicules utilitaires aux passages à niveau ont très peu progressé depuis 1996.
- Il a fallu beaucoup de temps avant qu'une norme sur les CDCD pour les STI soit enfin élaborée. Il se pourrait donc que l'on assiste à un regain des applications technologiques pour passages à niveau utilisant cette nouvelle norme.

- Peut-être à cause de cette absence de norme, nous avons trouvé peu de projets de recherche ou de projets de déploiement portant expressément sur les STI et les véhicules à «haut risque» ou les véhicules d'urgence aux passages à niveau. Le Minnesota, avec son programme Guidestar, continue de mener des expériences très intéressantes dans sa quête de solutions économiques.

- L'approche recommandée dans le rapport de 1996 vaut toujours aujourd'hui, si on excepte la recommandation selon laquelle il faut arrêter le train lorsque le détecteur indique que le passage à niveau est obstrué – pour cela, la détection devrait avoir lieu alors que le train se trouve à une distance supérieure à sa distance de freinage, ce qui veut dire que les barrières devraient être abaissées environ trois minutes avant l'arrivée du train au passage à niveau. Or, il a été démontré que lorsque l'activation du système d'avertissement précède de plus de 10 secondes, environ, le moment minimal où il doit être activé, les conducteurs font fi de l'avertissement et se mettent à contourner les barrières abaissées. Néanmoins, le concept constitue une approche à long terme valable pour mieux alerter les conducteurs de véhicules utilitaires lorsqu'ils s'approchent d'un passage à niveau, qu'il soit automatisé ou non.

- Dans la seule province qui oblige les véhicules lourds transportant des marchandises dangereuses à faire un arrêt aux passages à niveau, les collisions dans lesquelles un véhicule lourd obligé de s'arrêter est heurté par l'arrière par un autre véhicule sont loin de poser un problème majeur. Comme le montrent les statistiques du Québec, il n'est survenu que trois collisions de ce genre aux passages à niveau au cours de la période de 1995 à 1999.

- Il convient de surveiller les nouvelles applications STI dans le secteur du transport routier, car des transferts modaux pourraient offrir des solutions économiques et fiables pour les passages à niveau.

5. CONSULTATIONS AUPRÈS DES INTERVENANTS

Dans le cadre de la recherche, l'équipe de projet a effectué des voyages en compagnie de camionneurs et de mécaniciens de locomotive et a rencontré en entrevue des représentants de plusieurs intervenants. La présente section est un résumé des observations et des discussions auxquelles ont donné lieu ces consultations.

5.1 Observations faites au cours des voyages effectués en compagnie de conducteurs de véhicules utilitaires et de mécaniciens de locomotive

5.1.1 Conducteurs de véhicules utilitaires transportant des marchandises dangereuses en vrac

Les 9 et 10 juillet 2003, un membre de l'équipe de projet a accompagné deux camionneurs qui transportaient des marchandises dangereuses en vrac sur les routes du Québec et de l'Ontario. Les deux chargements avaient pour point de départ Ottawa, en Ontario. Le chercheur observait ce que faisaient les conducteurs au moment de franchir des passages à niveau et leur posait plusieurs questions afin d'obtenir leurs opinions et leurs suggestions concernant la façon d'améliorer la sécurité, les systèmes d'avertissement et les communications entre les passages à niveau et les conducteurs de véhicules utilitaires.

Il existe deux différences fondamentales entre les législations provinciales du Québec et de l'Ontario relatives au franchissement de passages à niveau par des véhicules utilitaires transportant des marchandises dangereuses. En Ontario, un camion qui transporte des marchandises dangereuses et qui porte une plaque n'a pas à s'arrêter aux passages à niveau. Il doit s'arrêter uniquement lorsque le système d'avertissement automatisé (le cas échéant) est activé ou, dans le cas d'un passage à niveau non automatisé, lorsqu'un train s'approche. Au Québec, tous les véhicules utilitaires transportant des marchandises dangereuses et portant une plaque doivent s'arrêter à tous les passages à niveau, peu importe qu'un train arrive ou non. Cette règle est similaire à la règle en vigueur aux États-Unis (CFR.49.392.10).

Données sur les conducteurs

Un des conducteurs avait 33 ans, l'autre, 51 ans. Tous deux étaient de sexe masculin et aucun ne portait des lunettes. Les deux avaient de 13 à 20 ans d'expérience de la conduite de véhicules utilitaires. Leurs heures de service au cours d'un voyage type s'élevaient en moyenne à 12 heures par jour. Les deux étaient à l'emploi de la même entreprise et ils étaient rémunérés à l'heure et au mille parcouru.

Données sur les camions

Les deux véhicules consistaient en des ensembles tracteur–semi-remorque à remorque à trois essieux, d'une longueur hors tout de 18 m, dont le poids nominal brut du

véhicule (PNBV) était de 50 500 kg (20 000 kg à vide), et 47 500 kg (17 000 kg à vide), respectivement. Les deux véhicules transportaient des marchandises dangereuses de classe 2 (gaz liquéfiés). Tous deux étaient chargés pour l'aller et vides pour le retour.

Pour ce qui est des systèmes de communications, les deux véhicules étaient équipés d'un téléphone cellulaire et d'une radio bande publique (BP). Tous deux étaient munis d'un moteur à gestion électronique avec module de commande électronique. Ce module est un système passif qui enregistre diverses données (changements de vitesse, vitesse, application des freins, engagement de l'embrayage, etc.) sur la conduite du véhicule. Ces données peuvent être utilisées en cas d'accident, mais elles ne sont pas d'emblée disponibles.

Les deux voyages ont eu lieu pendant le jour. Dans les deux cas, le temps était ensoleillé et le ciel, dégagé, et il faisait autour de 25 °C. Chacun des trajets aller et retour prenait de 2,0 à 2,5 heures. Au cours du trajet d'Ottawa à Lachute (au Québec), trois passages à niveau ont été franchis, et le même nombre au retour. Un de ces passages à niveau était situé au Québec et deux étaient situés en Ontario. Sur le trajet d'Ottawa à Pembroke, cinq passages à niveau ont été franchis à l'aller comme au retour.

Tous ces passages à niveau étaient munis de systèmes d'avertissement automatisés, qui étaient constitués soit d'une croix d'avertissement montée sur un poteau avec feux rouges, soit d'une combinaison de croix d'avertissement montées sur des poteaux en bordure de la voie et suspendues au-dessus de la voie, toutes munies de feux. Un des passages à niveau était également équipé de quatre demi-barrières sans jupe.

À tous les passages à niveau, on trouvait un avertissement avancé à environ 250 m en amont du passage. Dans certains cas, l'avertissement était constitué d'un simple symbole (voies ferrées coupées par une route); dans d'autres, le même symbole était accompagné de l'inscription en gros caractères «Arrêter aux feux clignotants». À certains passages, un gros X blanc était peint sur la chaussée, à environ 10 m des voies ferrées; à d'autres, on avait peint une ligne d'arrêt blanche. Dans tous les cas, la route comportait une seule voie dans chaque direction; nulle part on ne trouvait de voie d'arrêt d'urgence.

Au Québec, le passage à niveau comportait deux voies ferrées, était équipé de croix d'avertissement et de feux, et était situé en milieu urbain. Pendant l'approche du passage à niveau et l'arrêt, le conducteur actionnait les quatre feux clignotants du camion pour prévenir les automobilistes qui le suivaient (procédure exigée par la loi). Le camion de 18 m (60 pi) de longueur pleinement chargé a mis moins de 20 secondes à franchir les deux voies.

En Ontario, les conducteurs n'arrêtaient pas et ne ralentissaient pas aux passages à niveau, à moins que les feux d'avertissement clignotent. La limite de vitesse aux passages à niveau était de 50 km/h dans les villes et de 90 km/h en rase campagne.

Les deux conducteurs ont affirmé faire pleinement confiance aux feux d'avertissement des passages à niveau; par conséquent, il ne regardaient ni à gauche ni à droite avant de

traverser, et ils ne ralentissaient ni à l'approche des voies ni en les traversant, à moins d'être obligés de le faire, comme au Québec.

Les deux conducteurs ont déclaré que si, pendant leur approche d'un passage à niveau, les feux rouges se mettaient à clignoter, ils immobiliseraient leur camion s'ils jugeaient la distance jusqu'au passage à niveau suffisante, mais qu'ils continueraient leur route s'ils jugeaient la distance trop courte. Ils essaieraient même de faire un arrêt d'urgence si cela était nécessaire.

Suggestions des conducteurs

Les deux conducteurs préféreraient un système d'avertissement dans la cabine, qui donnerait l'alerte par des signaux visuels et sonores. L'un a suggéré que l'heure d'arrivée du train s'affiche dans la cabine au moment où le camion se trouve à la hauteur des panneaux d'avertissement avancé; il a aussi été suggéré qu'un feu vert (pour *allez*) ou rouge (pour *arrêtez*) s'allume. Les conducteurs ne se sont pas prononcés sur un système d'avertissement qui aurait priorité sur les manœuvres du conducteur, p. ex., un système qui freinerait ou ralentirait automatiquement le véhicule.

Les barrières constituent le système de sécurité préféré des conducteurs. Ceux-ci préfèrent ne pas avoir à s'arrêter aux passages à niveau parce que, selon eux, cela accroît le risque d'être heurté par l'arrière par un autre véhicule, même si les données du Québec révèlent un très petit nombre de collisions par l'arrière mettant en cause des véhicules utilitaires (trois en trois ans).

Pour ce qui est des passages à niveau non automatisés, il a été suggéré de les munir de feux clignotants, qui s'ajouteraient aux signaux sonores et visuels à l'intérieur de la cabine. En ce qui a trait à la formation, les conducteurs reçoivent déjà une formation spéciale sur la conduite et le transport de marchandises dangereuses. Ils n'ont pas estimé nécessaire de prévoir une formation supplémentaire.

Les figures 2 à 5 montrent un des véhicules, l'intérieur de la cabine et deux vues à partir des fenêtres.

Figure 2 : Véhicule utilitaire utilisé pour les voyages d'observation

Figure 3 : Poste du conducteur avec téléphone sur le tableau de bord et radio BP au-dessus

Figure 4 : Véhicule s'approchant d'un passage à niveau automatisé (panneau d'avertissement à droite, «X» peint sur la chaussée, croix d'avertissement avec feux) en Ontario

Figure 5 : Véhicule utilitaire s'approchant d'un panneau d'avertissement portant le symbole de voies ferrées coupant une route, des feux et l'inscription «Passage d'un train aux feux clignotants»

5.1.2 Mécaniciens de locomotive de VIA Rail

Un membre de l'équipe de projet a voyagé à bord d'un train de voyageurs de VIA Rail, dans la cabine de la locomotive, en compagnie de deux mécaniciens, le 14 juillet 2003, entre Ottawa, en Ontario et Dorval, au Québec, et a effectué le voyage de retour le même jour à partir de la Gare centrale de Montréal.

Données sur les mécaniciens

Les deux mécaniciens étaient des hommes dans la quarantaine. Tous deux portaient des lunettes pour corriger la myopie et des verres fumés pour la conduite. Il avaient de 24 à 26 ans d'expérience de la conduite de trains de marchandises et de trains de voyageurs.

Données sur les locomotives

Les deux locomotives étaient des locomotives diesel GE à moteur d'entraînement électrique de 4 200 hp (pour *horse power*). Il y avait trois places dans la cabine : deux places de mécanicien — une pour le mécanicien principal, avec toutes les commandes de conduite, et une pour le co-mécanicien, avec les commandes de communication et de secours seulement — et une troisième place au centre de la cabine, en retrait des deux premières, sans accès aux commandes. Les mécaniciens changent de place à mi-chemin environ de chaque étape. Deux fenêtres leur donnent une vue sur l'avant de la locomotive tandis que deux rétroviseurs disposés à l'extérieur de chaque côté leur permettent d'observer l'arrière.

L'équipement de communication dans la cabine est constitué d'un radiotéléphone et d'un téléphone cellulaire qui permettent de communiquer entre autres avec le centre de régulation. Un ordinateur embarqué affiche les paramètres du moteur — tr/min, hp, vitesse, etc. — et pose un diagnostic en cas d'anomalie.

Données sur le voyage

Chaque étape du voyage a duré environ 1 heure et 45 minutes. Le train roulait à au plus 160 km/h sur les tronçons rectilignes, à environ 40 à 60 km/h dans les courbes, et à environ 10 à 15 km/h à l'approche de signaux d'arrêt ou de voies d'évitement. Les limites de vitesse sont indiquées par des panneaux le long de la voie. À l'aller comme au retour, le train a franchi environ 75 passages à niveau munis de signalisation automatique et environ 25 passages à niveau privés, sans signalisation. Tous les passages à niveau à signalisation automatique, sauf trois, étaient munis de croix d'avertissement avec feux rouges clignotants et de barrières avec feux clignotants. Les passages à niveau privés ne comportaient ni croix d'avertissement ni panneau d'avertissement.

Observations

Lorsqu'un train s'approche d'un passage à niveau automatisé, les barrières et les feux clignotants s'activent automatiquement sous la commande de circuits de voie qui

détectent l'occupation. Comme l'ont indiqué les mécaniciens, les feux se mettent à clignoter et les barrières à s'abaisser 20 secondes avant l'arrivée du train au passage à niveau. Il est très rare que le mécanicien vérifie visuellement si les barrières sont effectivement abaissées ou si les feux clignotent. Un œil témoin permet de constater si les feux clignotent, mais pas avant que la locomotive soit presque à la hauteur du passage à niveau. Les mécaniciens ont dit avoir parfaitement confiance au bon fonctionnement des feux et des barrières à l'approche du train. De plus, à environ 300 m d'un passage à niveau, un panneau monté sur un poteau du côté droit de la voie porte un «W» qui informe le mécanicien qu'il est temps d'actionner le klaxon.

Une série de feux rouges, jaunes et verts montés sur des mâts le long des voies indiquent au train s'il doit continuer, ralentir ou s'arrêter. À l'approche d'un de ces feux, le mécanicien principal indique à haute voix la couleur du feu, qui est confirmée par le co-mécanicien. En même temps, le co-mécanicien appelle le centre de répartition et laisse un message sonore indiquant la situation du feu à certains emplacements cruciaux, à mesure qu'ils sont franchis.

Un des mécaniciens a déclaré se trouver 3 ou 4 fois par année dans des situations de quasi-accident à des passages à niveau, et avoir été témoin de 11 morts au cours de ses 25 années aux commandes d'une locomotive.

Enjeux

Les mécaniciens se fient entièrement au système de commande de la signalisation — qui déclenche le clignotement des feux et l'abaissement des barrières. Même dans des conditions météorologiques idéales, les mécaniciens ne peuvent se rendre compte si les feux des croix d'avertissement clignotent ou si les barrières sont abaissées. Il n'y a pas de signal dans la cabine qui indique la défaillance des systèmes d'avertissement, le cas échéant. De toute manière, en cas de défaillance de la signalisation, le train n'aurait pas assez des 20 secondes de délai d'avertissement pour s'arrêter.

La sécurité du train est uniquement compromise si un obstacle est immobilisé sur un passage à niveau et s'il ne peut être aperçu depuis une distance au moins égale à la distance d'arrêt du train. La collision devient alors inévitable.

Suggestion

Un signal de retour du poteau portant la croix d'avertissement à la cabine pourrait confirmer aux mécaniciens que les feux clignotent et que les barrières sont abaissées. Bien sûr, il ne resterait alors que 20 secondes pour réagir, et il serait impossible d'arrêter le train à temps, si un obstacle était immobilisé sur les voies ou en train de les franchir, mais cela pourrait au moins réduire la violence de l'impact.

À 160 km/h, le train a besoin d'environ 2 km pour s'immobiliser complètement. Il est rare que la géométrie de la voie et les conditions météorologiques permettent aux mécaniciens de voir aussi loin que 2 km. Or, pour pouvoir arrêter le train à temps, le

mécanicien doit pouvoir déceler un véhicule immobilisé sur le passage à niveau à 2 km ou plus de distance. Une telle détection peut être confiée à des nouvelles technologies, comme un système à infrarouge qui améliore la visibilité la nuit, ou un système anti-collision capable d'avertir de la présence d'obstacles sur les passages à niveau depuis de grandes distances.

Figure 6 : Poste de conduite du mécanicien principal avec toutes les commandes de conduite et deux écrans pour l'affichage des paramètres des moteurs

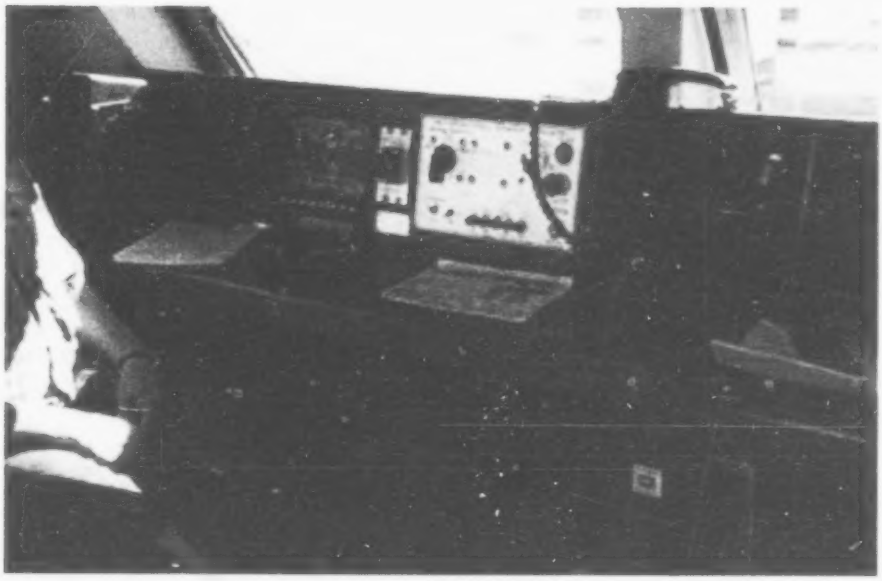


Figure 7 : Poste du co-mécanicien avec un seul écran, quelques commandes, un téléphone cellulaire et un radiotéléphone

Figure 8 : Passage à niveau privé – habituellement de ferme – sans système d'avertissement automatisé

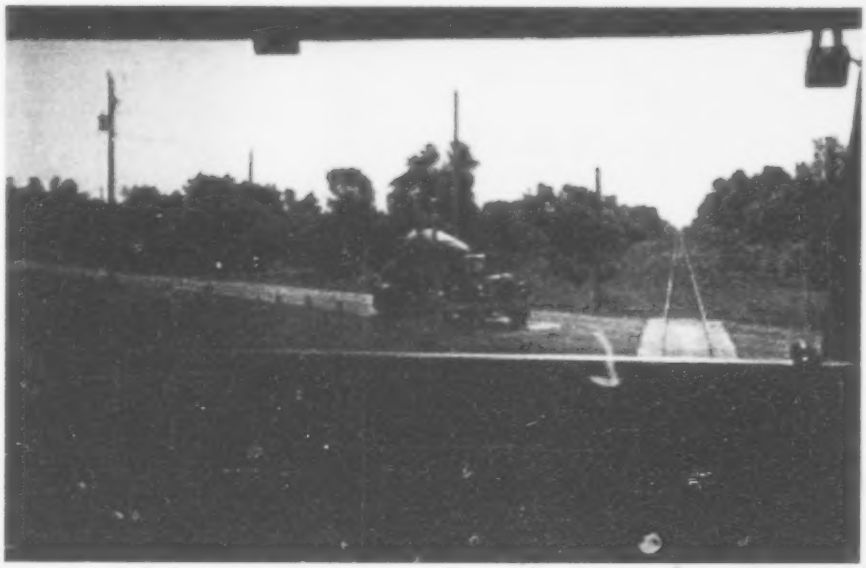


Figure 9 : Passage à niveau automatisé avec croix d'avertissement, feux clignotants et barrières abaissées

5.2 Représentants de l'industrie ferroviaire

Des entrevues téléphoniques ont été menées avec des représentants de l'industrie ferroviaire, afin d'obtenir leur opinion sur ce qui suit :

- la nécessité, selon eux, de donner aux véhicules à haut risque un avertissement supplémentaire de l'arrivée d'un train aux passages à niveau;
- la volonté des chemins de fer de participer à un programme qui consisterait à installer des systèmes d'avertissement supplémentaires;
- les principes de conception à appliquer.

Les entrevues téléphoniques ont été menées avec des représentants des compagnies et associations suivantes :

- Association of American Railroads
- VIA Rail
- Canadien Pacifique
- Canadien National
- Association des chemins de fer du Canada

5.2.1 Besoin perçu d'un avertissement supplémentaire

Le problème du temps que mettent certains véhicules moteurs à traverser les voies ferrées ne figure pas parmi les priorités de l'industrie ferroviaire. Les représentants des chemins de fer canadiens consultés ont ajouté que le petit nombre de collisions mettant en cause des véhicules à haut risque ne semble pas justifier l'ajout de systèmes d'avertissement aux passages à niveau. Toutefois, s'il s'avérait qu'il existe un risque élevé, soit de fréquence, soit de conséquences, les chemins de fer seraient prêts à revoir leur position.

Aux États-Unis, on observe actuellement une tendance à aménager des «corridors étanches» aux passages à niveau. On veut par là solutionner le plus gros problème aux passages à niveau, soit celui des conducteurs qui contournent les barrières abaissées pour ne pas avoir à attendre les quelques secondes ou minutes que prendra le passage du train. Un corridor étanche comprend une barrière médiane installée suffisamment en amont du passage à niveau pour empêcher les conducteurs de contourner les barrières.

Aux passages à niveau des zones à grande vitesse (où les trains roulent à 140 km/h – ou 90 mi/h – et plus), quatre demi-barrières sont installées, ainsi que des capteurs qui empêchent les barrières de sortie de s'abaisser aussi longtemps qu'un véhicule moteur se trouve entre les barrières.

5.2.2 Volonté de participer au développement d'applications STI

Les chemins de fer ne sont pas enclins à participer à de nouveaux programmes qui viseraient à améliorer les avertissements à des passages à niveau déjà pourvus de systèmes d'avertissement, si cela devait représenter pour eux des coûts supplémentaires

(d'investissement ou d'exploitation), car il n'a pas été prouvé qu'il existe un risque suffisant pour rendre le programme rentable. Par ailleurs, ils sont disposés à participer s'ils n'ont rien à débourser.

5.2.3 Principes de conception

Il y a deux façons d'indiquer à un dispositif en voie l'heure prévue de l'arrivée d'un train à un passage à niveau : soit par un système embarqué qui transmet l'information au dispositif en voie, soit par un système de détection en voie.

Les chemins de fer sont d'avis que l'approche du système embarqué n'est envisageable que si elle est conjuguée à d'autres systèmes, comme la commande des trains par les télécommunications (CBTC, pour *communications-based train control*), qui suppose elle aussi un système de positionnement dans la locomotive. Pour qu'un tel système soit vraiment utile, il faudrait que près de 100 p. 100 des locomotives soient équipées de la CBTC. Il s'ensuit que dans la plupart des zones, cette approche doit être considérée comme une stratégie à très long terme.

L'autre solution consiste à utiliser un système de détection en voie. Les circuits de voie sont la technologie classique de détection des trains, et ajouter des fonctions aux circuits de voie serait une proposition très coûteuse, que les chemins de fer ne voudraient pas assumer. Ils seraient toutefois prêts à envisager des technologies de détection en voie aux conditions suivantes :

- qu'ils n'aient rien à payer pour leur installation ou leur entretien;
- que les technologies soient installées de façon à ne gêner en rien les travaux habituels d'entretien et de remplacement des voies.

Bref, les chemins de fer seraient assez favorables aux technologies de détection de train à condition de ne pas en être responsables, et ils permettraient l'installation des systèmes de détection de train sur leur emprise, sous réserve de ce qui précède.

Il ressort des entrevues avec les conducteurs de véhicules utilitaires, et des perceptions générales issues de ces entrevues, que les conducteurs font tellement confiance aux systèmes d'avertissement des passages à niveau qu'ils omettent de regarder ou d'écouter s'il y a un train qui arrive. Cette confiance quasi aveugle dans le système pourrait avoir des conséquences désastreuses si le système était défectueux et s'il n'existait pas de moyen pour détecter la défaillance et la signaler aux véhicules routiers. Dans les systèmes d'avertissement classiques, une batterie de secours prend la relève en cas de défaillance et le système s'active et demeure activé jusqu'à ce que les causes de la défaillance soient corrigées.

La pratique, dans le monde ferroviaire, est de concevoir les systèmes essentiels à la sécurité selon des principes de sûreté intégrée. Si les chemins de fer étaient responsables d'une partie du système, ils insisteraient pour qu'il soit conçu selon des normes de sûreté intégrée. Si, par contre, la responsabilité de l'achat, de l'installation et de l'entretien du

système était assurée par une administration routière ou un organisme mandataire, par exemple, les chemins de fer recommanderaient fortement que la conception soit à sûreté intégrée, mais sans y tenir à tout prix.

5.3 Représentants du secteur routier

Des entretiens téléphoniques ont eu lieu avec des représentants choisis du secteur routier, afin d'obtenir leur point de vue sur ce qui suit :

- la nécessité, selon eux, de donner aux véhicules à haut risque un avertissement supplémentaire de l'arrivée d'un train aux passages à niveau, et leur volonté de participer à un projet STI;
- leur volonté de participer à un programme d'installation de systèmes STI.

Les entretiens téléphoniques ont eu lieu avec des représentants des groupes suivants :

- Ministère des Transports du Nouveau-Brunswick – Représentant responsable des STI
- Ministère des Transports de l'Ontario – Sécurité routière
- Ministère des Transports du Québec – Sécurité routière
- Agence des douanes et du revenu du Canada – Programme EXPRES
- Constructeurs de moteurs (Cummins et Caterpillar)
- Freightliner Corporation
- U.S. Truck Manufacturers' Association
- Alliance canadienne du camionnage
- Parcs de camions (CAT, Challenger, Bessette & Boudreau, Economy Carrier, Liquid Air et G3 Group)
- Trois camionneurs/camionneurs artisans
- Autobus scolaires — Transport Moore et le président du comité de l'Association canadienne de normalisation (CSA) sur les normes techniques concernant les autobus scolaires
- Exploitant d'autocars (Orléans Express)
- Ville d'Ottawa
- Opération Gareautrain – Directeur national

5.3.1 Besoin perçu et volonté de participer au développement d'applications STI

Les représentants interrogés ont convenu qu'il serait difficile de convaincre les administrations routières et les transporteurs routiers d'élaborer une stratégie STI destinée uniquement aux passages à niveau. Des administrations routières (Nouveau-Brunswick et Ville d'Ottawa) sont toutefois intéressées, pour différentes raisons, à examiner des solutions STI. Le Nouveau-Brunswick est disposé à servir de banc d'essai pour des projets de démonstration de technologies STI à des passages à niveau non automatisés. Quant à la Ville d'Ottawa, elle pourrait regarder du côté des technologies STI pour des passages à niveau dont l'infrastructure présente des caractéristiques particulières.

Les entreprises de transport de marchandises semblent davantage disposées à mettre à l'essai des solutions STI, à condition qu'elles s'insèrent dans un cadre qui prévoit d'autres applications plus générales. À court terme, elles pourraient être favorables, par exemple, au déploiement de transpondeurs pour des applications aux frontières. On peut par ailleurs affirmer sans se tromper que les exploitants d'autocars et d'autobus scolaires ne voient pas la nécessité de telles technologies à l'heure actuelle.

Tous ont convenu de la nécessité de trouver, pour les passages à niveau, des technologies STI complémentaires des STI déjà en place. Les solutions STI pourraient, par exemple, viser les passages à niveau où des problèmes particuliers d'infrastructure se sont posés ou les passages à niveau où les quasi-collisions entre un poids lourd et un train sont fréquentes.

5.3.2 Principes de conception

Les autorités provinciales et municipales ne se sont pas encore penchées sur la question de la responsabilité de la transmission de l'information et sur celle de la sûreté intégrée des systèmes. Comme les chemins de fer refusent la responsabilité des communications entre les passages à niveau et les véhicules routiers, le problème reste entier. Mais il faudra bien un jour répondre à la question «qui est responsable?».

Les transporteurs et les conducteurs seraient toutefois favorables à un système d'alarme embarqué qui les informerait de l'arrivée imminente d'un train, en sus des systèmes d'avertissement existants. Certains se déclarent disposés à se contenter d'un simple système d'alarme, mais la plupart préféreraient un système à sûreté intégrée.

En ce qui a trait à la technologie, les transpondeurs semblent être vus comme un bon choix, au départ, pour la communication des avertissements aux véhicules. Les normes STI pour les transpondeurs sont bien connues et plusieurs projets en cours utilisent cette technologie (postes frontaliers entre le Canada et les États-Unis, ministère des Transports de l'Ontario, ministère des Transports du Québec, EZPASS et certains projets réalisés par des chemins de fer des États-Unis). On a toutefois noté que l'appui aux applications faisant appel à des transpondeurs semble circonscrit dans les régions du centre et de l'est de l'Amérique du Nord. Cette technologie est peu répandue dans les régions de l'ouest de l'Amérique du Nord. Mais cela pourrait changer si les administrations douanières décidaient de mettre en œuvre des transpondeurs à la grandeur de l'Amérique du Nord pour les transporteurs approuvés dans le cadre du Programme EXPRES.

Les fabricants de moteurs et les constructeurs de véhicules n'envisagent pas d'applications technologiques particulières, à part celles qui sont nécessaires pour respecter les nouvelles normes de l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis. L'adoption de modifications aux règlements, en octobre 2002, a entraîné des changements majeurs aux moteurs diesel. Et d'autres changements seront apportés en 2007 et 2010.

C'est au directeur national de l'Opération Gareautrain que l'on doit le commentaire qui résume peut-être le mieux le problème de la mise en oeuvre des STI aux passages à niveau : «Quelle que soit la voie choisie pour mettre en oeuvre les STI aux passages à niveau, on ne peut qu'espérer que le nouveau système améliorera la confiance des utilisateurs à l'égard du système d'avertissement dans son ensemble et que l'ajout de systèmes STI ne réduira pas la confiance qu'ont les gens dans les systèmes actuels».

5.4 Exploitants de véhicules d'urgence

Les organisations suivantes ont été contactées :

- Police provinciale de l'Ontario
- Service de police d'Ottawa
- Service d'incendie d'Ottawa
- Ambulances d'Ottawa

Même dans une situation d'urgence, les voitures de police doivent s'arrêter aux feux, croix d'avertissement et barrières, comme tout autre véhicule. En pareil cas, l'agent doit informer son centre de répartition qu'il est immobilisé à un passage à niveau, et le répartiteur tentera de trouver une voiture-patrouille de l'autre côté des voies ferrées pour répondre à l'appel.

Les agents de police connaissent l'existence d'un numéro 800 qui leur permet de communiquer directement avec le Canadien Pacifique et le Canadien National pour connaître les détails de l'occupation d'un passage à niveau, p. ex., train de voyageurs, train de marchandises, temps pendant lequel le train occupera le passage à niveau.

Lorsque la vie d'une personne est en danger, les voitures de police peuvent franchir les voies ferrées même si les barrières sont abaissées et les feux activés, après avoir vérifié visuellement qu'il n'y a aucun risque de collision. Mais tel n'est pas le cas des ambulanciers, qui ont affirmé que jamais ils ne prendraient le risque de traverser une voie ferrée après que les feux ont commencé à clignoter et les barrières à s'abaisser.

5.4.1 Technologies embarquées

Tous les services d'urgence interrogés possédaient des véhicules qui étaient munis d'une forme ou une autre de technologie embarquée. Ainsi, on trouve à bord de tous les véhicules un téléphone mobile. Certaines auto-patrouilles affectées à des zones rurales sont dotées d'un GPS, pour le repérage d'endroits précis. Tous les conducteurs de véhicules d'urgence interrogés se sont dits favorables à un système d'avertissement à bord du véhicule, qui leur indiquerait sur un écran combien de temps il reste avant l'arrivée du train au passage à niveau, de façon qu'ils puissent mieux décider s'ils peuvent traverser ou non.

Les voitures de police sont équipées d'un radiotéléphone relié au centre de répartition et d'un ordinateur. À la Police d'Ottawa, elles sont aussi reliées au centre de répartition par

des terminaux à messagerie texte. La Police d'Ottawa serait elle aussi favorable à un système d'avertissement qui ferait, sur un écran dans la voiture, le décompte du temps qu'il reste avant l'arrivée d'un train au passage à niveau, de façon que les policiers puissent mieux décider s'ils ont le temps de traverser ou s'ils doivent s'arrêter.

Toutes les ambulances sont équipées d'un système GPS/AVL, qui permet au centre de répartition de suivre leurs déplacements, d'une radio pour les communications entre les ambulanciers et les répartiteurs, et de téléphones cellulaires.

L'équipement de communication à bord des camions incendie comprend un radiotéléphone fixe, un radiotéléphone mobile et des téléphones cellulaires.

Les ambulanciers et les pompiers seraient favorables à un système d'avertissement avancé à bord du véhicule, qui leur permettrait de modifier leur itinéraire pour éviter de se voir bloquer la route par un train. Ils auraient alors besoin d'un préavertissement d'au moins deux minutes.

Figure 10 : Ambulancière utilisant un téléphone cellulaire pour communiquer avec le centre de répartition

Figure 11 : Pompier dans la cabine d'un camion incendie équipé d'un radiotéléphone mobile et d'un radiotéléphone fixe

5.5 Consultation de la Direction générale de la sécurité ferroviaire de Transports Canada

L'équipe de projet a également rencontré des représentants de la Direction générale de la sécurité ferroviaire de Transports Canada.

Transports Canada est d'avis que tout système conçu pour avertir les automobilistes aux passages à niveau devra être vérifié par sa Direction générale de la sécurité ferroviaire et atteindre un certain niveau de sûreté intégrée avant de pouvoir être soumis à des essais. Cette vérification devrait avoir lieu peu importe le lieu d'implantation des technologies STI, c.-à-d. même si elles sont implantées sur une emprise ferroviaire ou sur la propriété d'un gouvernement provincial. Bref, la Direction générale de la sécurité ferroviaire de Transports Canada trouve intéressants les systèmes STI, mais à son avis, aucun nouveau système ne pourra être autorisé avant d'avoir été l'objet d'une évaluation approfondie.

Des craintes ont en outre été exprimées concernant l'ajout d'une autre couche d'avertissement aux passages à niveau.

5.6 Sommaire des consultations

Les consultations ont révélé que ce sont les utilisateurs et la réglementation qui décideront, en définitive, de la mise en œuvre de STI aux passages à niveau. Les constructeurs d'automobiles et de locomotives ne feront que fournir la technologie lorsqu'on la leur demandera.

Au cours de toutes les entrevues, la confiance des conducteurs de véhicules utilitaires à l'égard des systèmes d'avertissement existants ne s'est jamais démentie. Autre fait

saillant, les principes de conception à sûreté intégrée sont bien ancrés dans les traditions, les normes techniques et les pratiques réglementaires.

Voici quelques-uns des enjeux mis en lumière par les consultations :

- Pour beaucoup d'organismes, la question du déploiement des STI aux passages à niveau n'est pas prioritaire et on semble encore loin d'une «masse critique».
- Les chemins de fer ont fortement recommandé que tout nouveau développement technologique respecte les critères de sûreté intégrée.
- La Direction générale de la sécurité ferroviaire de Transports Canada a fortement insisté elle aussi sur la question de la sûreté intégrée.
- Les transporteurs routiers estiment qu'un système d'avertissement dans la cabine serait acceptable.
- Tous les conducteurs interrogés font totalement confiance aux systèmes d'avertissement existants aux passages à niveau.
- Les choix technologiques doivent être fondés sur une conception modulaire. Autrement dit, la technologie appliquée aux passages à niveau ne doit pas être spécifique à cette application, mais se prêter à d'autres applications plus générales.
- Un consensus s'est fait autour de la technologie des transpondeurs comme étant le choix probablement le plus logique pour communiquer les avertissements aux véhicules aux passages à niveau.
- La question des coûts-avantages et celle de l'évaluation du risque devraient faire l'objet d'un essai et d'un projet de démonstration.
- La question de la responsabilité devrait être examinée lors d'un essai et d'un projet de démonstration, car aucune des administrations routières n'a encore beaucoup réfléchi à la question de la responsabilité des communications par STI entre passages à niveau et véhicules automobiles.
- Comme ce ne sera pas avant de nombreuses années que tous les passages à niveau et tous les véhicules seront équipés, un défi majeur se posera, soit d'élaborer une stratégie de transition viable, qui procurera des avantages même pendant la période de transition.

6. STRATÉGIES STI POUR VÉHICULES UTILITAIRES AUX PASSAGES À NIVEAU

Les principaux facteurs à prendre en compte dans l'élaboration d'une stratégie pour l'application d'une technologie STI aux passages à niveau sont le nombre de véhicules concernés, le nombre de passages à niveau visés et le risque relatif.

Comme il existe des millions de véhicules utilitaires présentement en exploitation en Amérique du Nord, et que beaucoup ne seront pas remplacés avant une bonne dizaine d'années, ce n'est pas avant longtemps que tous les véhicules pourront être équipés, à moins qu'il soit possible d'installer les systèmes en rattrapage (et qu'il y ait une volonté politique de rendre une telle installation obligatoire). On peut donc s'attendre que les systèmes fixes en bordure de la voie seront nécessaires de nombreuses années encore. Par conséquent, dans l'immédiat, les systèmes STI se superposeront aux systèmes d'avertissement existants.

De même, il existe des milliers de passages à niveau déjà équipés de systèmes d'avertissement et, compte tenu du nombre relativement faible d'accidents aux passages à niveau (en comparaison des accidents entre véhicules sur le réseau routier), il y a peu d'incitation à se hâter d'équiper tous les passages à niveau de dispositifs STI.

La technologie STI se déploiera donc sur de nombreuses années. D'où la nécessité d'une stratégie de transition pour démarrer sur une petite échelle, puis assurer une propagation de plus en plus rapide de la nouvelle technologie, à mesure que les conditions deviendront plus favorables. Cette section porte sur des principes de conception et une stratégie de transition propices à une mise en œuvre à long terme.

6.1 Principes de conception et de développement

Voici quelques-uns des principes de conception et de développement à respecter pour qu'un système soit acceptable.

- **La conception doit être à sûreté intégrée.** Les conducteurs finissent par se fier aux systèmes d'avertissement et ils s'attendent à ce qu'ils fonctionnement toujours correctement. Le système doit donc être conçu pour que les responsables de celui-ci puissent être constamment prévenus de toute défaillance de l'une partie ou l'autre partie du système, et alerter, le cas échéant, le conducteur. Sans ce principe, la défaillance du système entraînerait inévitablement un risque élevé de collision. La sûreté intégrée ne pourrait ne s'appliquer qu'au système de surveillance des passages à niveau existant, mais elle doit aller plus loin, car toute défaillance dans la portion *route* ou *véhicule* du système doit aussi être décelée.

- **La conception doit être fondée sur des critères et des normes largement acceptés.** Les véhicules peuvent circuler partout en Amérique du Nord. Si la fonctionnalité ou l'établissement des communications ne respecte pas une norme communément

acceptée, la partie du système à bord du véhicule ne pourra pas fonctionner partout sur le continent.

- **Les technologies utilisées doivent avoir déjà été démontrées et éprouvées.**

- **Les avertissements doivent cibler uniquement les véhicules qui s'approchent d'un passage à niveau.** Les avertissements ne doivent pas être adressés aux véhicules qui quittent un passage à niveau, ou à ceux qui circulent sur une voie qui ne mène pas au passage à niveau (routes parallèles, passages supérieurs, passages inférieurs, etc.).

- **Les avertissements doivent être du type à «délai constant».** Autrement dit, le délai entre l'avertissement et l'arrivée du train au passage à niveau doit toujours être le même, peu importe la vitesse du train. C'est un principe que l'on applique à tous les nouveaux passages à niveau, et beaucoup de vieux systèmes d'avertissement sont remplacés par des dispositifs à délai constant là où il existe de larges écarts entre les vitesses des différents trains.

De plus, grâce à une technologie STI, il est possible pour un bureau central d'être au fait de l'état de fonctionnement des dispositifs et d'intervenir promptement en cas de défaillance.

Les principes ci-dessus doivent s'appliquer à trois aspects du système d'avertissement :

1. la prévision de l'occupation d'un passage à niveau par un train;
2. la transmission d'avertissements aux véhicules qui s'approchent;
3. l'interface entre les conducteurs et les systèmes d'avertissement situés à l'intérieur et à l'extérieur du véhicule.

Ces trois aspects sont repris ci-dessous.

6.2 Prévision de l'occupation d'un passage à niveau par un train

Comme on l'a vu à la section 4, il existe plusieurs technologies capables de prévoir l'heure de l'occupation d'un passage à niveau par un train. Compte tenu des principes de conception déjà exposés, deux technologies peuvent être recommandées.

6.2.1 Magnétomètres fixes en bordure de la voie

Les magnétomètres sont placés par paires à 50 m (164 pi) l'un de l'autre, à 1,4 m (4,5 pi) sous les rails, dans l'axe de la voie. En les plaçant à cette profondeur, on s'assure qu'ils ne seront pas dérangés lors des travaux d'entretien de la voie. Il faut un minimum de trois paires, dont une paire à chacune des limites de la zone, pour donner le délai d'avertissement additionnel nécessaire – cette limite se situe à 1,6 km (1 mi) du passage à niveau, pour un préavertissement de 60 secondes de l'arrivée d'un train, si la vitesse maximale des trains est de 100 km/h (60 mi/h), et à 2,4 km (1,5 mi) si la vitesse

maximale des trains est de 145 km/h (90 mi/h). Cette distance est supérieure à la longueur habituelle des circuits de voie, pour donner le délai d'avertissement additionnel requis. La troisième paire de magnétomètres doit être installée au passage à niveau comme tel. Des paires supplémentaires sont nécessaires pour détecter les changements de vitesse du train, en particulier dans les zones où l'accélération du train est plausible.

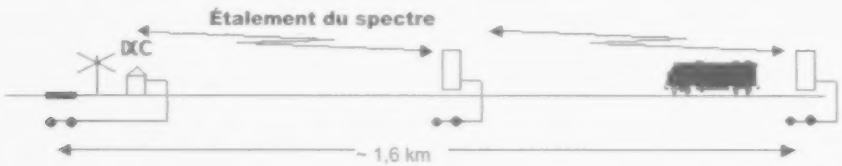


Figure 12 : Principe d'un système de détection à magnétomètres

Chaque paire de magnétomètres doit être reliée à un régulateur de passage à niveau intelligent (IXC, pour *intelligent crossing controller*), par une radio à étalement du spectre ou par un câble enfoui. Dans le premier cas, il faut prévoir plusieurs sources d'énergie, ce qui peut être coûteux, tandis que dans le second cas, il suffit d'enfouir le câble.

Chaque paire de magnétomètres mesure la vitesse du train lorsqu'elle détecte un train, et transmet l'information à l'IXC, qui traduit les données en heure à laquelle le train occupera le passage à niveau.

Le régulateur doit être conçu conformément aux normes de sûreté intégrée, de sorte que, en cas de défaillance d'un magnétomètre, de circuit ouvert ou de court circuit, il peut déceler la défaillance et déclencher un avertissement.

6.2.2 GPS embarqué dans la locomotive et calcul embarqué

Lorsque la prévision de l'occupation se fait à bord de la locomotive, la locomotive, équipée d'un système de positionnement conjugué à un système CBTC, prévoit l'heure de son arrivée au passage à niveau et transmet cette information à l'unité d'interface fixe (WIU) au passage à niveau. Dans le projet NAJPTC, le processus débute plus de trois minutes d'avance. Si la prévision change (par suite de changements aux paramètres de commande de la locomotive) pendant que le train s'approche du passage à niveau, des mises à jour sont transmises à la WIU.

Dans ce système, la WIU accuse réception des messages de la locomotive. Si la locomotive ne reçoit pas d'accusé de réception, ou si l'accusé de réception révèle une anomalie quelconque, une limite de vitesse est imposée au train au passage à niveau. De même, si une anomalie se produit dans le système de la locomotive, le train s'immobilise ou réduit sa vitesse. C'est ainsi que l'objectif de sûreté intégrée est atteint.

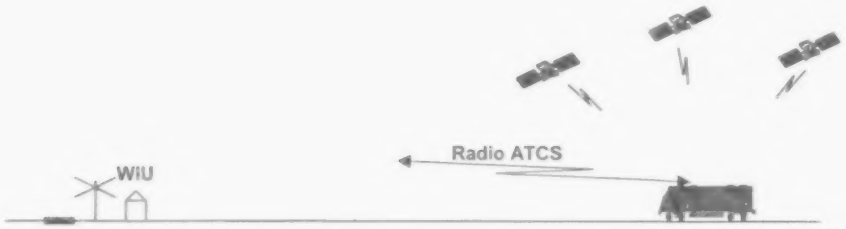


Figure 13 : LDS à bord de la locomotive

Une certaine forme de détection positive de trains sur le passage à niveau est toujours nécessaire, mais au passage à niveau seulement.

Le problème que pose cette approche est que toutes les locomotives qui traversent la zone doivent être équipées d'un LDS. Pour les locomotives non équipées, un système classique ou en bordure de la voie doit être prévu, pour donner des avertissements ordinaires. Or, cela augmente le coût du système.

6.3 Transmission de l'avertissement au véhicule

Pour respecter le principe selon lequel seuls les véhicules qui s'approchent d'un passage à niveau reçoivent l'avertissement, il faut que le signal provienne d'un régulateur fixe, même si le système CBCT a été installé dans toute la zone. Ce système peut être conçu selon trois niveaux.

6.3.1 Niveau 1

C'est le niveau le plus simple. Il comprend trois éléments : un régulateur de passage à niveau intelligent (IXC), qui détermine quand les avertissements doivent débuter, selon l'heure prévue d'occupation du passage à niveau; un émetteur de communications directes à courte distance en voie; et un transpondeur (récepteur) à bord du véhicule. L'IXC peut soit recevoir des signaux de vitesse des capteurs (magnétomètres) dans la voie, qu'il utilise pour prévoir l'heure d'occupation, ou il peut recevoir l'heure d'occupation prévue calculée à bord d'une locomotive qui arrive et transmise par une WIU du chemin de fer.

En situation réelle, le transmetteur est continuellement en mode transmission, et il envoie le message *danger* ou *sans danger*, selon l'indication du régulateur. Le message *danger* se déclenche avec une certaine avance par rapport à l'heure d'occupation prévue, et le message *sans danger* s'affiche après que le train a libéré le passage à niveau. Le transpondeur à bord du véhicule affiche le message soit textuellement soit sous forme de pictogramme.

Figure 14 : Transmission du message au véhicule

Le message *danger* pourrait être envoyé, par exemple, 60 secondes avant l'occupation du passage à niveau (comparativement à 30-35 secondes dans le cas des feux et des cloches).

Cette approche ne répond pas au critère de la sûreté intégrée, car le transpondeur à bord du véhicule ne s'allume que s'il reçoit un signal. Il revient au conducteur de se rendre compte que le système ne s'allume pas à proximité d'un passage à niveau. Ce problème survient lorsque le passage à niveau est difficile à percevoir en raison des conditions météorologiques et que le conducteur ne connaît pas sa position exacte. Par ailleurs, il peut souvent arriver que cette approche ne respecte pas le critère «n'avertir que les véhicules qui s'approchent», car le signal CDCD peut se propager au-delà de la zone immédiate du passage à niveau.

6.3.2 Niveau 2

Ce niveau introduit dans le véhicule des composants «intelligents» et un récepteur GPS. Les coordonnées de tous les passages à niveau publics sont stockées dans l'ordinateur de bord. Lorsque le véhicule s'approche d'un passage à niveau, l'ordinateur «arme» le système, avertissant le conducteur qu'il y a un passage à niveau tout près. S'il ne détecte pas de signal provenant du transmetteur CDCD, il donne une indication au conducteur que le système d'avertissement avancé du passage à niveau est défectueux.

Figure 15 : Le véhicule détecte les passages à niveau

Cette approche répond au critère de sûreté intégrée, à condition que l'ordinateur de bord donne un signal lorsqu'il tombe lui-même en panne. Les conducteurs sont avertis chaque fois qu'ils s'approchent d'un passage à niveau, et ils sont également informés de l'état de fonctionnement de l'avertissement avancé. Et à ce niveau, les avertissements fallacieux sont éliminés, ce qui accentue d'autant la crédibilité du système.

Comme au niveau 1, le conducteur reçoit une indication *danger* ou *sans danger*, mais une troisième indication est également possible, soit *défaillance de l'avertissement avancé*.

6.3.3 Niveau 3

Ce niveau comporte un ordinateur de bord aux fonctions améliorées, qui tient compte des caractéristiques du véhicule. Le message transmis par l'IXC comprend l'heure de l'occupation ainsi que l'affichage *danger/sans danger*. Mais cette dernière donnée est calculée par l'ordinateur de bord en fonction des caractéristiques du véhicule (sa longueur), de sa distance par rapport au passage à niveau et de sa vitesse.

6.4 Considérations relatives aux facteurs humains

Les statistiques révèlent très peu d'incidents mettant en cause des trains et des véhicules utilitaires aux passages à niveau, mais c'est la gravité des incidents, sinon leur nombre, qui est préoccupante. Ces incidents peuvent entraîner des pertes de vie et coûter très cher lorsqu'un wagon déraille, que des marchandises dangereuses se déversent, que des résidents doivent être évacués et que l'environnement doit être nettoyé. Compte tenu du faible taux des incidents, il n'est pas surprenant qu'il y ait si peu de données de recherche sur les facteurs humains influant sur les conducteurs de véhicules utilitaires aux passages à niveau.

La responsabilité d'éviter les incidents incombe aux conducteurs des véhicules. Quant à l'exploitant du train, il lui revient de s'assurer que les passages à niveau automatisés sont équipés de feux et/ou de barrières pour avertir les véhicules qui s'approchent de l'occupation du passage à niveau, d'utiliser le klaxon du train en tant que moyen d'avertissement, et de bloquer le passage des véhicules en abaissant les barrières. Il est de la responsabilité de l'administration routière d'avertir les véhicules en amont du passage à niveau par des panneaux de signalisation, des feux clignotants et des marquages sur la chaussée.

6.4.1 Systèmes d'avertissement extérieurs

Les systèmes d'avertissement actuels conçus pour alerter les automobilistes aux passages à niveau automatisés sont constitués des éléments extérieurs suivants :

- avertissement avancé (mise en garde) : panneau avancé, parfois muni de feux clignotants, et marquages sur la chaussée indiquant la présence d'un passage à niveau en aval;
- avertissement immédiat (risque de collision) : croix d'avertissement avec feux clignotants rouges, cloches ou son du klaxon du train, et/ou barrières aux passages à niveau.

De plus, au Québec et dans certains États américains, la réglementation oblige les véhicules qui transportent des marchandises dangereuses à faire un arrêt à tous les passages à niveau, qu'ils soient occupés ou non.

Dans les autres provinces et États, les conducteurs se fient complètement aux systèmes d'avertissement à sûreté intégrée mis en place par les exploitants des trains. S'il ne voit

pas de feux qui clignotent ou de barrières abaissées, le conducteur poursuit sa route sans ralentir ni s'arrêter.

Divers facteurs peuvent réduire l'efficacité des systèmes d'avertissement automatisés situés à l'extérieur du véhicule :

- Conditions météorologiques extrêmes qui limitent la visibilité et empêchent de distinguer les panneaux de signalisation
- Incapacité d'entendre le klaxon du train, en raison du bruit à l'intérieur du véhicule ou d'autres bruits ambiants
- Fatigue du conducteur
- Méconnaissance de la géométrie du passage à niveau, p. ex., angle de l'approche, nombre de voies à traverser
- Méconnaissance de l'heure à laquelle le train occupera réellement le passage à niveau, même si les feux clignotent déjà
- Topographie du passage à niveau, p. ex., à la sortie d'une courbe, après une côte, qui réduit la rétroaction visuelle
- Angle formé par la route et les voies ferrées, qui ne permet de voir que sur une très faible distance dans une seule direction

Certains des facteurs ci-dessus peuvent amener le conducteur à mal apprécier une situation et à prendre des risques qui peuvent avoir de graves conséquences.

On peut alors se demander s'il existe d'autres technologies ou concepts que l'on pourrait installer en sus des systèmes d'avertissement extérieur pour réduire ces risques. La recherche a démontré que dans la plupart des cas, c'est une erreur humaine ou un jugement erroné qui contribue pour un fort pourcentage aux incidents, les technologies jouant un rôle beaucoup moindre.

L'objectif est donc clair : diminuer l'erreur humaine et le besoin d'exercer son jugement, et donner une information claire et précise.

À cette fin, il est proposé ce qui suit :

- la mise en place de systèmes d'avertissement à bord du véhicule;
- l'application de technologies embarquées;
- la mise en oeuvre d'une interface efficace entre les technologies et le conducteur du véhicule.

6.4.2 Enjeux reliés aux systèmes d'avertissement à bord du véhicule

La recherche sur les systèmes anti-collision révèle que, avec l'apparition des systèmes d'avertissement et d'autres systèmes d'information à bord du véhicule, se pose la question à savoir comment seront conçus les éléments de ce système potentiellement

complexe[5]. On peut trouver une amorce de réponse dans les normes sur les facteurs humains en vigueur dans les secteurs de l'aviation et de la défense, et dans les lignes directrices visant d'autres technologies. Il existe toutefois peu d'information relativement aux applications expressément destinées aux conducteurs de véhicules utilitaires aux passages à niveau. Or, plusieurs questions se posent concernant un système d'avertissement à bord du véhicule :

- Le conducteur peut-il voir/entendre/sentir au toucher le message?
- Le conducteur peut-il comprendre le message?
- L'interface est-elle sûre et efficace?
- Doit-on donner au conducteur la possibilité de déroger au système d'avertissement?
- Toute défaillance du système d'avertissement doit être clairement indiquée, p. ex., par la mention «Hors d'usage», «Ne fonctionne pas», «En dérangement».
- Le conducteur doit savoir quoi faire si le système ne fonctionne pas.

6.4.3 Considérations relatives aux technologies embarquées

Comme on l'a vu à la section 4, il existe plusieurs technologies envisageables, qui ont toutes en commun de répondre au principe de sûreté intégrée. Pour la transmission des données entre l'équipement de voie et le véhicule, la technologie envisagée est celle des CDCD. Une base de données GPS est envisagée pour la transmission des caractéristiques du passage à niveau au véhicule qui s'en approche.

L'affichage des messages à bord du véhicule peut se faire au moyen d'une unité de traitement des données qui en fait un rendu visuel (sur témoin DEL ou ACL), sonore et tactile/haptique, comme le montre la figure 16.

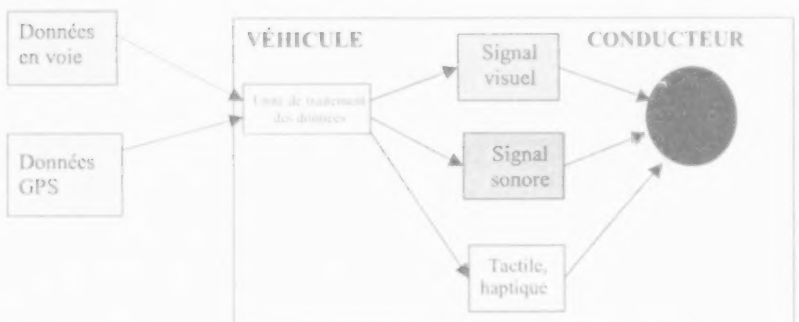


Figure 16 : Diagramme du flux de données pour l'interface embarquée

Les conducteurs de véhicules sont habitués à deux systèmes d'avertissement : i) un système relié au chemin de fer (croix d'avertissement, feux rouges clignotants et croix d'avertissement, barrières, marquages sur la chaussée, feux jaunes clignotants sur l'approche, klaxons/cloches) et ii) un système relié à la route (feux de circulation, panneaux d'arrêt, feux rouges clignotants, feux jaunes clignotants).

[5] Harpster, J., Huey, R., and Lerner, N., *Backup Warning Signals: Driver Perception and Responsibility*, DOT HS 808 536, NHTSA Report, Washington, DC, August 1996.

complexe[3]. On peut trouver une amorce de réponse dans les normes sur les facteurs humains en vigueur dans les secteurs de l'aviation et de la défense, et dans les lignes directrices visant d'autres technologies. Il existe toutefois peu d'information relativement aux applications expressément destinées aux conducteurs de véhicules utilitaires aux passages à niveau. Or, plusieurs questions se posent concernant un système d'avertissement à bord du véhicule :

- Le conducteur peut-il voir/entendre/sentir au toucher le message?
- Le conducteur peut-il comprendre le message?
- L'interface est-elle sûre et efficace?
- Doit-on donner au conducteur la possibilité de déroger au système d'avertissement?
- Toute défaillance du système d'avertissement doit être clairement indiquée, p. ex., par la mention «Hors d'usage», «Ne fonctionne pas», «En dérangement».
- Le conducteur doit savoir quoi faire si le système ne fonctionne pas.

6.4.3 Considérations relatives aux technologies embarquées

Comme on l'a vu à la section 4, il existe plusieurs technologies envisageables, qui ont toutes en commun de répondre au principe de sûreté intégrée. Pour la transmission des données entre l'équipement de voie et le véhicule, la technologie envisagée est celle des CDCD. Une base de données GPS est envisagée pour la transmission des caractéristiques du passage à niveau au véhicule qui s'en approche.

L'affichage des messages à bord du véhicule peut se faire au moyen d'une unité de traitement des données qui en fait un rendu visuel (sur témoin DEL ou ACL), sonore et tactile/haptique, comme le montre la figure 16.

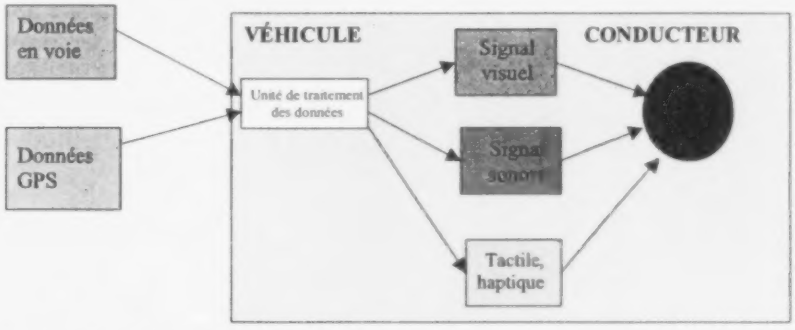


Figure 16 : Diagramme du flux de données pour l'interface embarquée

Les conducteurs de véhicules sont habitués à deux systèmes d'avertissement : i) un système relié au chemin de fer (croix d'avertissement, feux rouges clignotants et croix d'avertissement, barrières, marquages sur la chaussée, feux jaunes clignotants sur l'approche, klaxons/cloches) et ii) un système relié à la route (feux de circulation, panneaux d'arrêt, feux rouges clignotants, feux jaunes clignotants).

[3] Harpster, J., Huey, R., and Lerner, N., *Backup Warning Signals: Driver Perception and Responsibility*, DOT HS 808 536, NHTSA Report, Washington, DC, August 1996.

Un système d'avertissement à bord du véhicule doit tenir compte de ces facteurs. Autrement dit, il faut éviter de créer un nouveau système qui obligerait le conducteur à se familiariser avec de nouvelles méthodes ou de nouveaux symboles ou panneaux.

Pour qu'un système d'avertissement dans le véhicule soit efficace, le conducteur doit :

- voir, entendre ou sentir au toucher le message d'avertissement;
- ne pas être distrait de sa tâche principale, qui est de conduire;
- comprendre tout de suite le contenu du message;
- savoir exactement quelle décision il doit prendre après avoir reçu et traité le message d'avertissement.

6.4.4 Support du message

Trois supports peuvent être utilisés pour transmettre le message au conducteur :

1. Dispositif visuel (écran, moniteur)
2. Dispositif sonore (haut-parleurs)
3. Moyen tactile/haptique (vibration du volant, secousses dans la ceinture de sécurité, etc.)

6.4.5 Type d'avertissement dans le véhicule

Pour vraiment améliorer l'avertissement par rapport aux seuls systèmes extérieurs, le système d'avertissement à bord du véhicule ne doit donner l'information ci-après qu'aux véhicules qui s'approchent du passage à niveau :

- Avertissement avancé (mise en garde)
  - Avertissement de la présence d'un passage à niveau automatisé en aval
  - Situation du passage à niveau : occupé ou non par un train
  - Géométrie du passage à niveau et autres données particulières, p. ex., angle de l'approche routière par rapport aux voies, nombre de voies

- Avertissement immédiat (risque de collision)
  - Indication de s'arrêter avant de continuer
  - Mesure concrète requise du conducteur

6.4.6 Conception des messages

Pour la conception de la forme et du contenu des messages, on doit tenir compte de la tâche du conducteur lorsqu'il se trouve au volant. La recherche témoigne d'un énorme essor de la nature et du type d'interfaces conducteur dans les véhicules automobiles[4]. D'où la nécessité de travaux de recherche fondamentale sur les interfaces vocales et visuelles. Ces travaux devraient notamment porter sur les effets de la communication sur

[4] Sloss, David A., and Paul Green, *National Automotive Center 21st Century Truck (21T Dual Use Safety Focus*, Paper number 2000-01-3426, Society of Automotive Engineers, 2000.

la sécurité de la conduite. De plus, la vigilance des conducteurs est devenue un enjeu majeur dans les efforts pour réduire le nombre et la gravité des incidents mettant en cause des poids lourds.

Voici quelques-uns des critères à prendre en compte dans la conception des afficheurs et des interfaces :

- S'inspirer des normes et lignes directrices suivantes touchant l'affichage d'information à bord d'un véhicule : FHWA (Federal Highway Administration), NHTSA (National Highway Transportation Safety Agency), TC, CE (Communauté européenne), ISA (International Sign Association), SAE (Society of Automotive Engineers) et CSA (Association canadienne de normalisation).
- Établir les paramètres d'affichage en fonction du conducteur qui a le plus de difficultés.
- Optimiser la lisibilité en donnant le choix des paramètres d'affichage.
- Prévoir des écrans offrant une luminance et un contraste couvrant toute la gamme des conditions d'éclairage dans le véhicule (temps ensoleillé, ciel couvert, nuit).
- Utiliser les symboles internationaux pour appuyer les messages texte.
- Prendre soin que les avertissements ne soient pas des sources de distraction ou de divertissement visuel pour le conducteur.
- Installer les affichages les plus importants près de la ligne de visibilité.
- Utiliser un affichage bien connu des conducteurs, p. ex., relié au chemin de fer ou à la route.

Tous les messages doivent être clairs et précis, et SANS AMBIGUÏTÉ. Voici des exemples de messages :

- **Avertissements avancés en amont du passage à niveau, lorsqu'il est impossible de voir le passage à niveau de loin**

  Avertissement visuel (texte en français et en anglais)
  - «Train au passage à niveau dans 60 secondes», «Ralentissez, un train arrive»
  - «Train au passage à niveau»

  Avertissement sonore (message vocal en français et en anglais)
  - «Train au passage à niveau dans 60 secondes», «Ralentissez, un train arrive»
  - «Train au passage à niveau»

  Message tactile
  - Vibration du volant

- **Avertissements immédiats (risque de collision)**

  Il faut faire comprendre au conducteur que ces messages concernent la situation au passage à niveau même et non en amont.

Avertissement visuel (texte en français et en anglais)
- «Arrêtez au passage à niveau – Continuez», «Traversez – Danger, ne traversez pas»
- Symboles/couleurs : Panneau d'arrêt – Feu vert; Feu rouge – Feu vert

Avertissement sonore (message vocal en français et en anglais)
- «Arrêtez-vous au passage à niveau – Poursuivez votre route»; «Train au passage à niveau» – «Passage à niveau libre»
- Signaux sonores, p. ex., timbres sonores, cloches, etc.

Message tactile
- Resserrement des ceintures de sécurité, vibration du volant

Recommandations

- Élaborer, aux fins d'une démonstration, des lignes directrices provisoires concernant la conception d'interfaces ergonomiques, fondées sur les principes d'ergonomie incorporés aux normes touchant la communication et le traitement de l'information, et sur les lignes directrices de la FHWA concernant les facteurs humains et les véhicules utilitaires.
- Organiser un démonstration pour mettre à l'essai, évaluer et modifier, au besoin, les lignes directrices.
- À partir des résultats de l'essai, élaborer des lignes directrices pour mise en œuvre.

6.5 Schéma du système

En résumé, l'idée de base est de concevoir un régulateur de passage à niveau intelligent (IXC) capable de recevoir les prévisions d'occupation provenant de capteurs en voie (notamment des magnétomètres) ou les données de localisation et les prévisions d'occupation provenant de locomotives, ou l'information des deux sources.

L'IXC déterminerait si un avertissement *danger/sans danger* devrait être diffusé, selon un délai d'avertissement avancé requis, préétabli. De plus, le message comprendrait l'heure prévue d'occupation.

Le système à bord du véhicule afficherait le message *danger/sans danger* d'après le message reçu (compte non tenu des caractéristiques du véhicule) ou selon un temps calculé à partir de l'heure d'occupation et des caractéristiques du véhicule.

Il convient de noter que les termes *danger/sans danger* sont utilisés ici pour plus de clarté. Ce choix ne clôt en rien la discussion sur les méthodes de présentation de l'information aux conducteurs de véhicules, qui est l'objet de la section 6.4.

La figure 17 illustre le schéma du système.

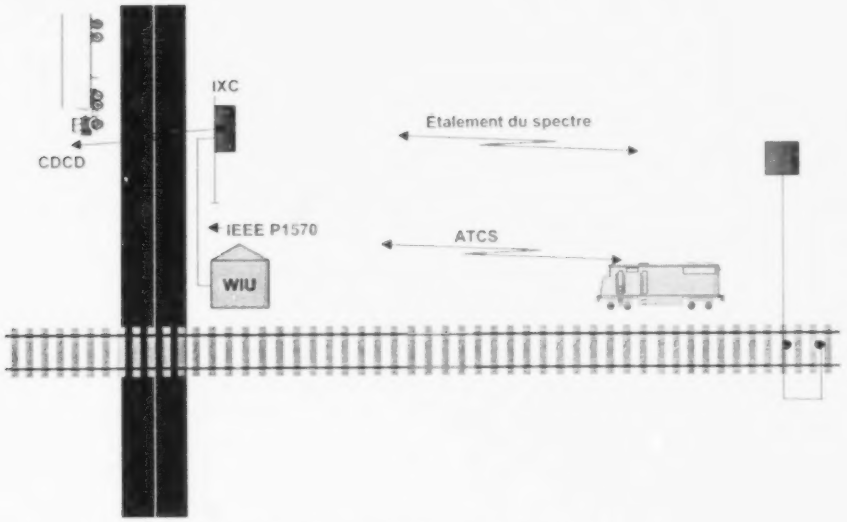


Figure 17 : Schéma du système

Même s'il revient aux parties intéressées d'aborder en détail la question de la propriété des systèmes, nous recommandons pour l'instant que l'équipement à bord de la locomotive et la WIU soient la propriété du chemin de fer, et que les capteurs et l'IXC soient la propriété de l'administration routière.

On peut penser à plusieurs normes pour régir les communications enter la locomotive et la WIU, mais c'est la norme ATCS qu'utilise en ce moment le projet NAJPTC. Les communications entre la WIU et l'IXC utiliseraient la norme P1570 de l'Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), élaborée spécialement pour les STI. Les communications entre la locomotive et l'IXC, relayées par la WIU, seraient en boucle fermée pour des motifs de responsabilité et pour des raisons opérationnelles.

L'IXC devrait être conçu pour commander les avertissements en bordure de la voie en plus de donner des avertissements à bord des véhicules.

Un système CDCD conforme à une norme STI présiderait aux communications entre l'IXC et le véhicule.

6.6 Stratégie de transition – à court terme

À court terme, seul un petit nombre de trains sera équipé d'un système CBCT. Il se peut que l'on trouve des systèmes pilotes sur un ou deux itinéraires et que ceux-ci soient fréquentés par un grand nombre de locomotives munies du système, mais cela demeurera l'exception, et non la règle, pendant quelques années encore.

Cela signifie que, jusqu'à ce que les locomotives soient massivement équipées, la prévision de l'occupation des trains devra être faite par des capteurs en voie (les magnétomètres étant la principale technologie éprouvée).

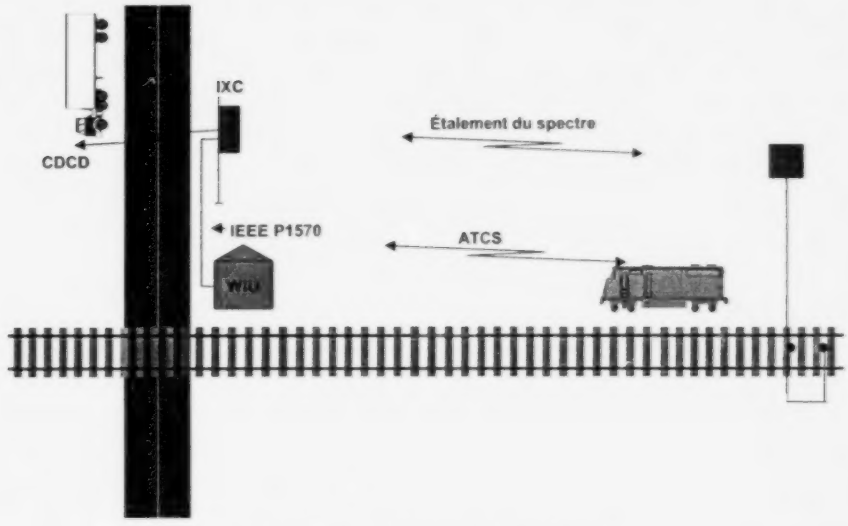


Figure 17 : Schéma du système

Même s'il revient aux parties intéressées d'aborder en détail la question de la propriété des systèmes, nous recommandons pour l'instant que l'équipement à bord de la locomotive et la WIU soient la propriété du chemin de fer, et que les capteurs et l'IXC soient la propriété de l'administration routière.

On peut penser à plusieurs normes pour régir les communications enter la locomotive et la WIU, mais c'est la norme ATCS qu'utilise en ce moment le projet NAJPTC. Les communications entre la WIU et l'IXC utiliseraient la norme P1570 de l'Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), élaborée spécialement pour les STI. Les communications entre la locomotive et l'IXC, relayées par la WIU, seraient en boucle fermée pour des motifs de responsabilité et pour des raisons opérationnelles.

L'IXC devrait être conçu pour commander les avertissements en bordure de la voie en plus de donner des avertissements à bord des véhicules.

Un système CDCD conforme à une norme STI présiderait aux communications entre l'IXC et le véhicule.

6.6 Stratégie de transition – à court terme

À court terme, seul un petit nombre de trains sera équipé d'un système CBCT. Il se peut que l'on trouve des systèmes pilotes sur un ou deux itinéraires et que ceux-ci soient fréquentés par un grand nombre de locomotives munies du système, mais cela demeurera l'exception, et non la règle, pendant quelques années encore.

Cela signifie que, jusqu'à ce que les locomotives soient massivement équipées, la prévision de l'occupation des trains devra être faite par des capteurs en voie (les magnétomètres étant la principale technologie éprouvée).

De même, il faudra attendre des années avant que les véhicules routiers puissent être équipés. Ainsi, la stratégie à court terme doit consister à équiper les véhicules à haut risque et les passages à niveau qu'empruntent ces véhicules et qui représentent donc un risque élevé. Tant que seuls les véhicules à haut risque seront équipés, un avertissement à délai constant devrait suffire, et un système d'avertissement de niveau 2 est tout ce qu'il faut. Cette stratégie permettra d'acquérir de l'expérience avant de mettre en œuvre des systèmes complexes. Autre avantage, la base de données sur les passages à niveau demeurera gérable.

6.7 Stratégie de transition – à long terme

À mesure que les systèmes CBCT se généraliseront, il deviendra possible d'utiliser les fonctionnalités que procurent ces systèmes pour transmettre l'heure prévue d'occupation du passage à niveau à la WIU et à l'IXC. Cela réduira les coûts d'installation associés à la transmission d'avertissements à l'intérieur des véhicules. Cela réduira également les coûts associés à la transmission d'avertissements en bordure de la voie, aux passages à niveau qui ne donnent présentement que des avertissements passifs (croix d'avertissement).

À mesure que les véhicules s'équiperont de transpondeurs CDCD et d'afficheurs, la transmission d'avertissements fondés sur les caractéristiques du véhicule deviendra de plus en plus courante – ce qui correspond à l'approche du niveau 3.

6.8 Projet de démonstration proposé

Toutes les technologies nécessaires pour donner un avertissement avancé à bord du véhicule aux passages à niveau existent déjà, mais elles n'ont pas encore été réunies en fonction de ce rôle particulier. Il est recommandé de réaliser un projet qui servira à démontrer la faisabilité d'un tel avertissement avancé.

Le site suggéré pour cette démonstration est le passage à niveau du chemin Merivale, dans la subdivision Smiths Falls, à Ottawa. Il s'agit d'une route régulièrement empruntée par des autobus urbains et des camions chargés de marchandises dangereuses. Tout près du passage à niveau se trouve une intersection à laquelle de nombreux véhicules font un virage à gauche, et il se forme souvent une file de véhicules qui attendent de tourner. On a même vu des automobiles et des autobus attendre sur le passage à niveau.

Il suffirait, pour qu'une catastrophe survienne, d'une collision par l'arrière dans la voie de gauche, avec un autobus immobilisé derrière sur le passage à niveau alors qu'un train arrive. Des travaux ont été entrepris pour éloigner l'intersection du passage à niveau, mais le risque, bien qu'atténué, sera toujours présent.

Le système de démonstration comporterait des capteurs en voie – des magnétomètres enfouis – qui détecteraient les trains et qui seraient reliés à un régulateur de passage à niveau intelligent conçu selon les principes de sûreté intégrée. Si le projet de démonstration de système CBCT (proposé) se concrétise, le système CBCT pourrait alors

servir à prévoir l'arrivée des trains de voyageurs, et des capteurs en voie ne seraient installés que pour déterminer la vitesse des trains de marchandises. Si le projet CBTC ne se concrétise pas, les capteurs devraient alors couvrir une zone plus grande, en raison des vitesses supérieures des trains de voyageurs.

Il est suggéré d'utiliser un système de niveau 2, qui prévoit la transmission et le traitement des messages dans le véhicule, car il est important d'acquérir de l'expérience avec une application de niveau 2 avant de passer à un système de niveau 3.

Ce projet de démonstration devrait être réalisé en deux phases et nous recommandons d'attribuer deux marchés distincts : (1) Ingénierie système et gestion du projet et (2) Conception, développement et mise en oeuvre.

6.8.1 Ingénierie système et gestion du projet

La première phase du projet comporte les travaux d'ingénierie système nécessaires pour préparer une Demande de proposition. Ces travaux comprendraient l'élaboration des spécifications du système (exigences liées au système), d'un concept d'opération, d'un énoncé des travaux, de lignes directrices en matière d'ergonomie et des plans d'essai. Ces tâches supposent des consultations avec les parrains et les intervenants pour définir la portée du projet sur le plan des facteurs humains – par exemple, décider si le système devrait comprendre des avertissements tactiles, en plus des avertissements visuels et sonores (ou au lieu des avertissements sonores). Le travail consisterait également à donner des conseils aux soumissionnaires potentiels, à établir les critères d'évaluation des propositions et à participer à l'évaluation des propositions. Quant à l'ampleur de la vérification de sécurité attendue pour un système pilote, elle devrait être déterminée de concert avec les chemins de fer concernés (CN et VIA), les propriétaires des véhicules et la Direction générale de la sécurité ferroviaire de Transports Canada, en raison des effets de cette décision sur le coût du projet.

Le fournisseur choisi pour développer, mettre à l'essai et mettre en oeuvre un système pilote devrait, pendant la deuxième phase, assurer la supervision technique des travaux de développement (répondre aux questions concernant les exigences et l'étendue des travaux), superviser l'essai du système et rédiger un rapport final.

Les soumissionnaires potentiels seraient invités à présenter une proposition pour les deux phases du projet, étant entendu que la deuxième phase ne serait autorisée que si une proposition acceptable est reçue d'un fournisseur.

Le coût variera en fonction de la portée qui sera finalement assignée au projet. Par exemple, il n'existe pas de norme définie pour les messages d'avertissement aux passages à niveau transmis d'un régulateur de passage à niveau intelligent à un véhicule. Si l'ingénieur système est en mesure de préciser un message pour la démonstration, le coût sera plus bas que s'il fallait collaborer avec l'IEEE pour élaborer une norme nord-américaine pour de tels messages. Une telle décision concernant l'étendue des travaux

influera sur l'applicabilité à long terme du développement et déterminera le temps nécessaire à la réalisation du projet.

Ingénierie système	175 000 $CAN
Gestion du project (Prolongement optionnel)	175 000
Total	**350 000 $CAN**

6.8.2 Développement, essai et mise en oeuvre

Le développement d'un système d'avertissement à bord du véhicule suppose la mise au point et l'intégration de plusieurs composants. Il serait sage de faire affaire avec un fournisseur expérimenté dans l'intégration de systèmes, plutôt qu'avec plusieurs fournisseurs de composants.

- **Composants ferroviaires :** Ils ne seront utilisés que si le projet de CBTC proposé pour la liaison Ottawa-Brockville est entrepris. Cela n'engendrerait aucun coût pour les locomotives, si ce n'est d'ajouter le passage à niveau Merivale dans la base de données à bord des locomotives. Il y aurait toutefois des coûts associés à l'achat d'une WIU pour le passage à niveau, et pour modifier le logiciel de façon à créer une interface avec l'IXC, selon la spécification P1570 de l'IEEE.

- **Composants routiers :** Ces travaux visent de nouveaux composants. Ils consistent à développer une interface avec la WIU, le cas échéant, à adapter la logique de l'IXC qui permet de prévoir l'heure d'arrivée des trains au passage à niveau, et à développer l'interface avec la radio CDCD, ce qui comprend la définition des messages transmis par la radio CDCD au transpondeur du véhicule.

- **Composants du véhicule :** Il s'agit là encore de travaux novateurs, qui consistent à développer une interface pour relier le transpondeur et l'ordinateur de bord du véhicule, à intégrer la fonctionnalité dans un ordinateur de bord existant (et rendre celui-ci conforme aux principes de sûreté intégrée, à moins de développer un nouvel ordinateur de bord à sûreté intégrée et sa logique connexe), à développer l'interface homme-machine et à développer des moyens pour importer et garder à jour la base de données sur les passages à niveau.

Présentement, il subsiste deux grandes inconnues susceptibles d'influer sur les estimations de coûts, à savoir le type de stimulus exigé pour donner les avertissements à bord du véhicule et l'ampleur de la vérification de sécurité qui sera nécessaire pour la démonstration. Ces coûts dépendent à leur tour de la façon dont les intervenants voient le système qui servira à la démonstration, c.-à-d. comme un système qui sera laissé en place en permanence ou qui sera retiré à la fin du projet.

Composants ferroviaires	75 000 $CAN
Composants routiers	125 000
Composants à bord du véhicule	500 000
Intégration du système	500 000
Vérification de sécurité	600 000
Total	**1 800 000 $CAN**

Les estimations de coûts ci-dessus se rapportent à un projet relativement poussé, qui comprend une interface homme-machine perfectionnée et une vérification de sécurité approfondie, dans la perspective de laisser en place un système fonctionnel après la démonstration. Si le système devait être retiré après la démonstration, il ne serait pas nécessaire de mener une vérification de sécurité approfondie, et les coûts seraient réduits d'autant.

Il convient de noter qu'une part importante de ces coûts se rapporte à des coûts de développement non récurrents. Ils ne représentent donc pas le coût de chaque installation.

7. CONCLUSIONS

Les technologies nécessaires pour donner un avertissement avancé, à bord du véhicule, de l'arrivée imminente d'un train à un passage à niveau sont techniquement à portée de main, mais leur mise en oeuvre ne serait pas rentable à l'heure actuelle. Nous sommes d'avis que, compte tenu du nombre de véhicules, de passages à niveau et de locomotives que l'on devrait équiper pour rendre ces systèmes viables, une stratégie de transition est nécessaire.

La priorité devrait être donnée aux passages à niveau à haut risque – ceux qui sont régulièrement traversés par des véhicules à haut risque ou ceux susceptibles de représenter un risque particulier en raison de leur configuration ou du nombre d'incidents dont ils ont été le théâtre au cours des dernières années.

Il n'existe pas sur le marché de système «de série» capable d'exécuter toutes les tâches nécessaires, mais tous les composants d'un tel système ont déjà été éprouvés sur le terrain. La démonstration de la technologie devrait de fait être une démonstration de faisabilité technique, et les aspects «facteurs humains» devraient être partie intégrante de cette démonstration.

Tout système donnant des avertissements à un passage à niveau doit être conçu selon un principe de sûreté intégrée qui va plus loin, peut-être, que notre conception traditionnelle des systèmes ferroviaires à sûreté intégrée. Dans le cas présent, le critère de sûreté intégrée exige que les conducteurs de véhicules soient eux aussi prévenus des défaillances éventuelles des systèmes ferroviaires. Tout projet qui visera à démontrer la faisabilité du système devra aussi souscrire au principe de sûreté intégrée.

Le passage à niveau du chemin Merivale, dans la subdivision Smiths Falls, à Ottawa constitue un bon candidat pour un projet de démonstration car il satisfait au critère de nécessité. De plus, il est facile d'accès pour les installateurs, les examinateurs et les observateurs.

Si la recommandation d'une démonstration est acceptée, la prochaine phase du projet consistera à préparer les documents nécessaires à une Demande de proposition (Énoncé des travaux, Spécification du système, etc.) et à lancer l'appel d'offres.

8. RECOMMANDATIONS

La probabilité d'un accident grave à un passage à niveau est faible, mais les conséquences d'un tel accident peuvent être désastreuses. Malgré l'absence d'avantages démontrés à se lancer dans un programme de technologies STI aux passages à niveau publics, tant sur le plan de l'économie que sur celui de la sécurité, il est important de garder un certain élan, de façon à être prêt si un accident ou un quasi-accident devait créer une occasion favorable à une mise en œuvre de ces technologies.

Il y a deux choses que l'on peut faire pour se préparer, sans aller jusqu'à développer un système :

1. **Élaborer un ensemble de spécifications pour un système.** Ces spécifications pourront être mises en réserve jusqu'à ce que se manifeste une demande pour des avertissements avancés à bord des véhicules. Le fait de disposer de spécifications accélérera le lancement du programme, le moment venu.

2. **Développer et mettre à l'essai des stimulus visuels, sonores et tactiles en guise d'interfaces homme-machine.** Les prototypes pourraient être mis à l'essai dans un environnement sécuritaire (en laboratoire ou en situation réelle, avec supervision). Les résultats de ces essais pourraient servir à étayer les spécifications. Le fait de mettre à l'essai les stimuli avant même de développer le système réduira le risque associé au développement, et réduira le temps de développement.

Les recommandations suivantes découlent des résultats et conclusions du projet :

- Une stratégie proactive de ***poussée technologique*** s'impose pour garder l'élan en faveur des STI aux passages à niveau. Une telle stratégie permettra de prévoir les besoins et de réagir immédiatement à l'état du marché, surtout en des moments de crise.
- Il est essentiel que tous les dispositifs et systèmes soient développés selon le principe de ***sûreté intégrée***.
- Les technologies nécessaires pour donner des avertissements avancés à bord des véhicules existent, mais elles doivent être intégrées en vue de ce rôle particulier.
- Les travaux futurs devraient se diviser en deux phases – phase I : ingénierie système, et phase II : démonstration du système.
- Tout déploiement futur de STI devra reconnaître que les transports sont un secteur d'activités intégré à l'échelle de l'Amérique du Nord. Les systèmes STI doivent donc être conçus pour pouvoir être déployés des deux côtés de la frontière.

8.1 Phase I : ingénierie système

La phase I, d'ingénierie système, comporte quatre tâches, qui consistent à définir les exigences à respecter pour une démonstration réussie.

8.1.1 Organisation

- Identifier ou confirmer des sites candidats pour la démonstration et définir des conditions propices.
- Définir le rôle et la contribution des organismes de réglementation du transport ferroviaire, des administrations routières et des chemins de fer et entreprises de camionnage.
- Élaborer un plan de démonstration de concert avec les intervenants, les parrains et les bailleurs de fonds.

8.1.2 Préparation de lignes directrices en matière d'ergonomie

- Élaborer des critères ergonomiques pour les conducteurs de véhicules utilitaires qui utiliseront les systèmes d'avertissement à bord du véhicule.
- Étudier dans quelle mesure les systèmes d'avertissement à bord du véhicule peuvent accroître la sécurité, dans le cas des conducteurs de véhicules utilitaires aux passages à niveau.
- Cerner les enjeux relatifs aux interfaces homme-machine qui doivent être conçues pour les systèmes d'avertissement à bord des véhicules utilitaires.
- Cerner les effets des avertissements visuels, sonores et tactiles sur les conducteurs de véhicules utilitaires, dans l'exercice de fonctions cruciales pour la sécurité.
- Élaborer des lignes directrices pour la conception des avertissements sonores, visuels et tactiles.

Les coûts de la phase I sont évalués à 175 000,00 $CAN, TPS et TVP non comprises.

8.1.3 Mise à l'essai des avertissements sonores, visuels et tactiles

Ces essais raffermiraient les lignes directrices de conception, en particulier celles qui ont trait à la faisabilité et à la convivialité, et serviraient à élaborer des exigences, plutôt que des lignes directrices, pour le processus de spécification. Le temps de développement s'en trouverait raccourci, le moment venu, et le risque de dépassement de coûts et de non-respect des échéances serait atténué, lors du développement et de la mise en œuvre.

L'équipement pour les essais ne serait pas un équipement de série et ne serait pas installé à demeure. Pour autant qu'ils soient bien planifiés, les essais pourraient avoir lieu soit en laboratoire, soit sur le terrain, avec supervision, et l'équipement n'aurait donc pas à être conçu selon des principes de sûreté intégrée.

Le coût de ces essais ne fait pas partie de l'estimation des coûts de la phase I.

8.1.4 Préparation des spécifications

Différents documents sont nécessaires pour définir le système et les critères d'acceptation :

- **le Concept d'opération**, qui décrit, en des termes non techniques, comment le système doit fonctionner, et ses interactions avec l'utilisateur;
- **la Spécification du système**, qui définit toutes les exigences fonctionnelles du système;
- **le Tableau des critères et conditions de vérification des exigences**, qui définit les conditions dans lesquelles chaque exigence doit être satisfaite et être mise à l'essai;
- **l'Énoncé des travaux**, qui définit le nombre d'articles à commander, décrit l'endroit où le système sera installé, etc.

8.2 Phase II : démonstration

Les travaux de la phase II comportent deux volets.

- Gestion du projet et ingénierie système par un contractant en ingénierie système
  - Préparer un calendrier et un budget
  - Participer à la sélection d'un développeur de système
  - Superviser le développement du système
  - Superviser les essais d'acceptation

- Développement et mise à l'essai du système par un intégrateur de système
  - Développer les composants ferroviaires
  - Développer les composants routiers
  - Développer les composants embarqués dans le véhicule
  - Intégrer les systèmes
  - Vérifier le système et ses composants

Il a été estimé que le coût d'un projet de démonstration respectant les principes de sûreté intégrée serait de l'ordre de 1 975 000 $CAN.

Centre de développement des transports

800, bd. René-Lévesque Ouest
Bureau 600
Montréal (Québec)
H3B 1X9

www.tc.gc.ca/tdc/index_f.htm